

Recherches sur
L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT
Par le procédé
DES BOUES ACTIVÉES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
(Section de Pharmacie)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie
Le 23 mai 1921

PAR

M. FRANÇOIS LAUPIN

Pharmacien adjoint des hôpitaux de Lyon

Né le 2 Octobre 1891, à Ciry-le-Notre (Saône-et-Loire)



VILLEFRANCHE

Imprimerie du « RÉVEIL DU BEAUJOLAIS »

9 et 9 bis, rue Pierre-Morin

—
1921

RECHERCHES SUR L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

par le procédé des Boues Activées

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 82

Recherches sur
L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

Par le procédé
DES BOUÉS ACTIVÉES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(Section de Pharmacie)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 23 mai 1921

PAR

M. FRANÇOIS LAUPIN

Pharmacien adjoint des hôpitaux de Lyon

Né le 2 Octobre 1891, à Ciry-le-Notre (Saône-et-Loire)



VILLEFRANCHE

Imprimerie du « RÉVEIL DU BEAUJOLAIS »

9 et 9 bis, rue Pierre-Morin

1921

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. J. LEPINE DOYEN.
ROQUE. ASSESSEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, SOULIER, CAZENEUVE,
BEAUVISAGE, LACASSAGNE, TESTUT.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	}	MM. TEISSIER.
Cliniques chirurgicales		ROQUE.
		BARD.
		TIXIER.
Clinique obstétricale et Accouchements.		BÉRARD,
Clinique ophtalmologique		FABRE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques		ROLLET.
Clinique neurologique et psychiatrique		NICOLAS.
Clinique des maladies des enfants		LEPINE (J.)
Clinique des maladies des femmes		WEILL.
Clinique d'oto-rhino-laryngologie.		POLLOSSON (A.)
Clinique des maladies des voies urinaires.		LANNOIS.
Clinique chirurgicale des maladies des enfants		ROCHET.
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie		NOVE-JOSSERAND.
Chimie biologique		CLUZET.
Chimie organique et toxicologie		HUGOUNENQ.
Matière médicale et Botanique		MOREL.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale		MOREAU.
Anatomie		GUIART.
Anatomie générale et Histologie		LATARJET.
Physiologie		POLICARD.
Pathologie interne		DOYON.
Pathologie et Thérapeutique générales		COLLET.
Anatomie pathologique		MOURIQUAND.
Médecine opératoire		PAVIOT.
Médecine expérimentale et comparée		VILLARD.
Médecine légale		ARLOING (F.)
Hygiène		ETIENNE MARTIN.
Thérapeutique		COURMONT (P.)
Pharmacologie		PIC.
		FLORENCE (A.)

PROFESSEURS ADJOINTS

Pathologie externe.	VALLAS.
Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN.
Chimie minérale.	BARRAL.
Accouchements	COMMANDEUR.
Urologie	GAYET

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Anatomie topographique.	PATEL.
Botanique	BRETIN.
Embryologie	HOVELACQUE.
Stomatologie	TELLIER.

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER	GARIN.	DUROUX	CORDIER
BRETIN	SAVY.	HOVELACQUE	ROUBIER
LERICHE	FROMENT.	TRILLAT	FAVRE
THEVENOT (Léon)	THEVENOT Lucien.	SARVONAT	MURARD
TAVERNIER	PIERY.	FLORENCE (G.)	BONNET
CADE.	COTTE	ROCHAIX	GRAVIER, chargé des fonctions.

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. COURMONT, président ; MOREL, assesseur ;
MM. FLORENCE G., ROCHAIX, agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE VÉNÉRÉE DE MON PÈRE

A CELLE DE MA GRAND'MÈRE ET DE MES CHERS DISPARUS

A MA MÈRE

Pour qu'elle trouve ici un faible
hommage de mon affection et de ma
reconnaissance.

A MA FIANCÉE

Dont la douce pensée m'a souvent
accompagnée au cours de ce travail.

A MON FRÈRE ET A MA BELLE-SŒUR

En affectueux hommage.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PAUL COURMONT,

Chevalier de la Légion d'Honneur

Qui a bien voulu nous inspirer notre travail et présider notre thèse.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ ROCHAIX

Chevalier de la Légion d'Honneur

Qui a dirigé notre travail, pour qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude pour sa bienveillance et son obligeance auxquelles nous avons eu journellement recours.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR MOREL,

Chevalier de la Légion d'Honneur

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ GABRIEL FLORENCE

INTRODUCTION

Parmi les problèmes que pose l'hygiène urbaine, celui de l'épuration des eaux d'égout est l'un des plus difficile à résoudre. Nombreux sont les procédés proposés, et leur nombre indique qu'aucun ne donne entière satisfaction.

Depuis peu on se préoccupe en France d'un procédé qui a déjà reçu quelques applications en Angleterre et en Amérique : c'est le procédé dit des « boues activées » ou encore, de « l'aération forcée ». Nous avons entrepris d'élucider quelques points intéressant le processus qu'utilise ce procédé, et ce sont ces résultats qui font l'objet du présent travail.

Ce sont surtout les phénomènes biologiques que nous avons eu en vue, mais en cours de route nous avons pu préciser ou confirmer des détails chimiques qui étaient l'objet de discussions.

Après un exposé de l'historique et de l'état actuel de la question nous consignons les résultats de cet ordre. Dans les chapitres suivants nous exposons nos recherches sur les phénomènes biologiques qui interviennent au cours de l'épuration et comme on le verra, ces phénomènes, contrairement à l'opinion de certains auteurs, jouent un rôle de première importance.

Le plan de notre travail sera donc le suivant :

Chapitre I : Historique et étude générale du procédé des boues activées.

Chapitre II : Mécanisme de l'épuration par les boues activées et actions bactériennes au cours de cette épuration (état actuel de la question).

Chapitre III : Recherches personnelles. Résultats chimiques.

Chapitre IV : Recherches personnelles. Résultats bactériologiques.

Chapitre V : L'épuration des eaux d'égout par les boues activées est-elle un phénomène d'ordre biologique ? (Expériences et discussion).

Conclusions.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE ET ETUDE GENERALE DU PROCEDE DES BOUES ACTIVEES

Depuis quelques années l'attention des hygiénistes a été sollicitée à différentes reprises par la publication de procédés d'épuration utilisant l'action oxydante de l'air insufflée dans l'eau d'égout. Tour à tour abandonnés il ne reste guère d'entre eux que le procédé dit des boues activées ou de l'aération forcée, qui à peine sorti du domaine de l'expérimentation n'a pas encore revêtu sa forme définitive, mais est employé néanmoins dans différentes stations d'épuration.

§ I

Historique

Un fait de longtemps acquis es l'oxydation du sewage exposé à l'air : dans ces conditions on constate la formation lente d'un dépôt avec nitrification concomitante des matières organiques et de l'ammoniaque. Si on favo-

rise l'action de l'air, par exemple par agitation, on remarque que le temps requis pour transformer le servage brut en un effluent épuré diminue.

En 1881, DUPRÉ et DIBBIN aèrent l'effluent de précipitation par la chaux et le sulfate de fer du sewage de Londres : Les résultats obtenus furent peu marqués. Le colonel Waring ayant à épurer les eaux d'égout de Wayne (Etats-Unis), dans des conditions défectueuses, tente d'utiliser l'aération pour désodoriser le sewage et en diminuer le coefficient de putrescibilité par augmentation de la quantité d'oxygène dissous.

En 1887, KAYE-PARRY applique un procédé d'aération breveté quelques temps auparavant par HARTLAND.

En 1891, DROWN étudie l'action de l'aération par agitation ou par insufflation d'air sous pression ; il conclut de ses expériences que l'aération artificielle est sans influence sur la vitesse d'oxydation de la matière organique.

MASSON et HINE, en 1892, trouvent que l'aération n'a pas d'effet sensible sur l'oxydation de la matière organique d'un mélange d'eau d'égout et d'eau naturelle.

Cinq ans plus tard, FOWLER arrive aux mêmes conclusions en aérant l'effluent de précipitation chimique du sewage de Manchester. Malgré ces résultats peu encourageants, la commission royale anglaise propose, en 1908, d'aérer les effluents des lits bactériens de contact lorsque ces effluents sont complètement dépourvus d'oxygène dissous : pour atteindre ce but, la commission conseille de faire tomber l'effluent en cascade d'une hauteur convenable.

BLACK et PHELPS, en 1911, reprennent la question : ils instituent des expériences en vue de rechercher si l'aé-

ration artificielle ne pourrait pas donner une épuration partielle du sewage, déversé dans la baie de New-York et les premiers ils arrivent à des conclusions favorables à l'aération.

Ils étudient séparément l'effet de l'aération sur l'eau d'égout brute, sur l'effluent des fosses septiques et sur l'effluent des « biolytic tanks » et ils *s'attachent à déterminer la quantité d'air nécessaire et suffisante pour stabiliser l'eau d'égout*, c'est-à-dire augmenter sa résistance à la putréfaction. La quantité de 0 l. 68 d'air par litre de sewage leur paraît être la proportion optima pour amener la saturation du sewage traité. Ce procédé est applicable surtout en été, son emploi est superflu en hiver, saison pendant laquelle la composition du servage brut est meilleure que celle du sewage dite après aération.

Au cours d'expériences sur la vie des poissons dans les eaux polliées faites à *Lawrence*, CLARK et ADAMS *observent une clarification marquée de l'eau d'égout par l'aération*, ils remarquent que lorsque ces eaux sont saturées d'oxygène elles se recouvrent d'organismes verts. Ils essayent de purifier l'eau polluée par des cultures de ces organismes verts mais ils aboutissent à un résultat négatif.

Ils sont plus heureux dans leurs expériences d'aération : l'aération préalable leur permet d'épurer dans des lits bactériens un volume trois fois supérieur au volume habituellement traité.

Continuant leurs expériences avec du sewage brut CLARK et ADAMS établissent un bassin d'aération muni dans sa partie inférieure de tuyaux pour insufflation d'air et contenant des ardoises espacées de 25 centimètres

et disposées verticalement. *Après cinq heures d'aération* l'eau est évacuée ; la *clarification obtenue est plus marquée que par sédimentation seule ou par précipitation chimique*, la boue adhéraît aux ardoises ou tombait au fonds du bassin. Cette boue était comme l'effluent dépourvue de mauvaise odeur et une fois de plus l'aération se montrait un auxiliaire précieux de l'épuration des sewages qui étaient selon les cas rejetés tels, ou traités avec un rendement bien meilleur par des lits bactériens.

En 1913, FOWLER et MUNFORD cherchent également à obtenir par aération un effluent clarifié qui débarrassé de la plus grande partie des matières en suspension et colloïdales sera susceptible d'une épuration plus profonde par les lits bactériens, lits dont le colmatage se trouvera également largement atténué.

Munford, au cours de recherches sur un autre sujet, avait isolé d'une eau ferrugineuse un germe ayant une action spécifique sur les sels de fer. Comme une certaine proportion de matières organiques était nécessaire au développement de ce germe, Munford et Fowler cherchèrent à utiliser les matières organiques contenues dans l'eau d'égout.

Le sewage préalablement décanté, étaitensemencé avec cet « iron bacterium », additionné d'une faible dose de sel ferrique puis aéré jusqu'à clarification. Après clarification l'effluent était dirigé sur un lit bactérien. Le phénomène d'épuration observé paraît être dû, partie à l'action propre du germe, partie à l'action coagulante de l'hydrate ferrique libéré. Ce dernier fixe d'autre part les composés sulfurés et atténue ainsi les exhalaisons malodorantes du sewage. L'eau d'égout brute de Davy-

hulure et l'effluent de sortie des fosses septiques de Manchester traités par ce procédé ont fourni des *effluents limpides et non putrescibles*.

ARDERN et LOCKETT reprirent à Manchester les études de Fowler et Munford, mais *ils abandonnèrent l'ensemencement par l' « iron bacterium »*.

Dans leurs expériences ils traitèrent le sewage par un courant d'air continu jusqu'à ce que la nitrification s'ensuive. Il leur fallut environ cinq semaines pour obtenir la nitrification complète.

Au bout de ce temps ils décantèrent le liquide clair et mirent un nouvel échantillon de servage en contact avec les matières déposées pendant la première opération.

Le mélange dépôt et sewage fut aéré à son tour jusqu'à oxydation complète. Cette série de décantations et d'aérations successives fut répétée un certain nombre de fois et les auteurs remarquèrent qu'à mesure que le dépôt de matières augmentait, le temps requis pour la nitrification diminuait : au bout d'un certain temps il leur fut possible d'oxyder complètement un échantillon d'eau d'égout en vingt-quatre heures.

Puis, lorsque le volume de boues accumulées fut suffisant, ils obtinrent après six heures d'aération un effluent de tous points comparable aux effluents des lits bactériens les plus efficaces.

Aussi Ardern et Lockett appelèrent-ils boue activée ce dépôt de matières solides résultant de l'oxydation des sewages et capable d'effectuer rapidement cette oxydation.

Avec Diénert, on peut donner de la boue activée la définition générale suivante :

Les boues activées *sont un dépôt de matières organiques*

et minérales, provenant de l'eau d'égout, et susceptible en présence de l'air d'oxyder rapidement l'ammoniaque, les matières solubles, et d'absorber les matières colloïdales.

§ 2

Propriétés physiques et composition chimique de la boue activée

La boue activée se présente sous l'aspect d'une gelée noire, colloïdale, mobile, facilement mise en suspension dans l'eau par agitation, son odeur rappelle celle de l'humus, alors que la boue d'égout se compose de flocons noirâtres se divisant mal par agitation avec l'eau, elle possède d'autre part une odeur fécaloïde nette.

Examinée au microscope, la boue activée paraît être essentiellement constituée par un dépôt amorphe, rappelant un précipité d'oxyde de fer ou d'alumine et par de nombreux microbes. On note la présence de quelques rares débris cellulaires et de diverses espèces de protozoaires.

La boue d'égout renferme de nombreuses cellules animales et végétales contenant encore du protoplasma, et aussi des microbes et des protozoaires.

L'analyse chimique montre peu de différence entre les boues avant et après activation, mais la composition varie avec les sewages dont ces boues son issues.

Voici par exemple une analyse sommaire des boues de Manchester (Arderm et Lockett) :

	avant activation	après activation
Matières minérales %	44.6	44.1
Matières organiques %	51,6	52.1
Azote total %	3.80	3.80

Les analyses plus détaillées faites par M. Dièner à Colombes confirment les résultats publiés par Arden et Lockett.

§ 3

Modes d'obtention des boues activées

1° Procédé original. — *Le procédé original* d'Arden et Lockett — aération de volumes successifs de servage jusqu'à nitrification complète — offre l'inconvénient d'être long et partant coûteux. C'est ainsi qu'à Manchester il fallut six mois pour accumuler la provision de boue activée nécessaire à la station expérimentale d'épuration.

2° Influence favorisante de l'humus. — On songea alors que l'humus des lits bactériens de contact devait jouir de propriétés analogues à celles de la boue activée ; et, en effet, l'expérience montra que l'addition d'humus à l'eau d'égout donnait en un temps d'aération relativement court, un effluent bien épuré. Toutefois pour obtenir avec l'humus de bons résultats, il importe de le débarrasser des débris de scories des lits bactériens, car ces débris tombant au fonds des bassins gêneraient l'aération, et échappant au mouvement, partant à l'oxydation, deviendraient le siège de fermentations réductives. On peut également employer avec succès l'humus des jardins, à condition de le débarrasser lui aussi des particules lourdes.

Mais le procédé vraiment pratique d'obtention des boues activées est celui qu'ont préconisé Clark, Bartow et Mohlmann, Arden et Lockett, Drinet, etc.

3° *Méthode des boues partiellement activées.* — Les auteurs soumettent des volumes successifs d'eau d'égout à des périodes d'aération courtes (six à quarante-huit heures) obtiennent rapidement une boue dite *partiellement activée*, car son activité, définie par le temps nécessaire à nitrifier une quantité donnée d'ammoniaque paraît plus faible que la boue obtenue par les procédés précédents. Ardern et Lockett ont d'ailleurs indiqué un procédé simple pour transformer en boue activée les boues qui ne le sont que partiellement. Il suffit d'aérer ces boues en présence de volumes successifs de sewage jusqu'à complète oxydation de ceux-ci. Comme dans le procédé original on voit le temps exigé pour chaque nitrification diminuer progressivement. C'est ainsi qu'à Manchester, Ardern et Lockett accumulèrent la boue dans des tonneaux où l'eau était renouvelée chaque jour, le temps d'aération était de 21 heures et 3 heures étaient employées pour la décantation et le remplissage. Au bout de 12 jours la durée d'aération fut réduite à 9 heures et le sewage fut renouvelé deux fois par jour, puis peu après trois fois.

Au bout de 26 jours, la quantité de boue accumulée fut jugée suffisante. On la soumit alors à une aération continue jusqu'à nitrification complète du sewage mis en présence. Le premier volume traité exigea deux semaines, le second trois jours seulement, le troisième 26 heures. Enfin au bout de deux nouvelles semaines le sewage brut était complètement oxydé en huit heures et peu après en six heures.

4° *Boues activées minérales.* — Diénert a tenté d'obtenir des boues activées avec de l'eau de rivière ou de l'eau de puits, additionnées d'ammoniaque et soumises à un

traitement analogue à l'eau d'égout. Le dépôt des eaux de rivière ou de puits étant très faible, et l'auteur jugeant que les ferments épurateurs ont besoin d'un support pour se développer, a ajouté de la craie, de la pouzzolane ou d'autres corps poreux.

Il est ainsi arrivé à préparer des boues minérales dont l'activité est exactement comparable à celle des boues obtenues par les procédés précédents. Ces boues minérales ont l'avantage d'exiger un temps plus court pour leur activation : de la pouzzolane en poudre stérilisée par la chaleur, mise en contact avec l'eau de rivière filtrée et aérée, est activée en 6-8 jours, alors que la même quantité de boue organique exige au moins 4-6 semaines pour atteindre le même degré d'activité.

Diénert indique également que l'addition de ces minéraux poreux (carbonate de chaux, pouzzolane) facilite l'oxydation de l'ammoniaque et augmente l'activité des boues organiques.

Ainsi en activant par un fort courant d'air 5 gr. de boue d'égout, il fallut un mois pour que cette boue arrivât à nitrifier 20 milligr. d'ammoniaque en 24 heures. On ajouta 3 gr. de craie et 3 jours après cette boue était capable de nitrifier 20 milligr. d'ammoniaque en 5 heures.

Par contre l'addition de certains précipités tels que les hydroxydes de fer ou d'aluminium a paru être sans influence sur l'activité des boues dans les expériences d'Arden et Lockett. M. Bellier, à Lyon, n'a retiré aucun avantage de l'emploi d'hydrate manganeux et de nickel réduit.

C'est qu'aussi bien les corps poreux préconisés par

Diénert offrent aux microbes épurateurs un support commode pour leur développement, et on conçoit que l'addition de précipités gélatineux par exemple, soit inopérante.

§ 4

Activité des Boues :

L'activité d'une boue est mesurée par le temps qu'elle met à nitrifier une quantité donnée d'ammoniaque. *Une boue d'activité normale agissant dès les conditions ordinaires de son emploi doit nitrifier vingt milligrammes d'ammoniaque par litre en cinq heures.*

L'activité peut d'ailleurs être plus considérable. M. Bellier a obtenu dans des conditions de température favorables, la nitrification de 13 milligr. d'azote ammoniacal par litre et par heure.

L'activité des boues apparaît brusquement : M. Diénert opérant avec de l'eau du puits de l'Institut Pasteur additionnée de 20 milligr. d'ammoniaque par litre et renbouée chaque jour, a retrouvé pendant 11 jours consécutifs et après 24 heures d'aération. Chaque fois la totalité de l'ammoniaque introduite, brusquement le douzième jour, l'azote ammoniacale a disparu et a été retrouvé sous forme d'azote nitrique.

L'activité d'une boue donnée dépend de quatre facteurs principaux :

1° l'âge ; 2° les conditions de température ; 3° la quantité d'air insufflée ; 4° les proportions relatives de boues et de servage employées.

1° Influence de l'âge : Les boues de préparation récente paraissent être les plus actives quant à la disparition rapide de l'ammoniaque, par contre les boues anciennes fournissent davantage d'azote nitrique.

Au cours du vieillissement des boues, on voit apparaître régulièrement la formation de nitrites, mais la quantité d'azote nitreux reste généralement très inférieure à celle d'Azote nitrique produite dans le même temps.

2° Action de la température : Cambier a vu la nitrification des servages s'opérer, quoique fortement retardée, même à 0°. La vitesse de nitrification est maxima vers 20°-25°. Au-dessus de 30°, l'aspect de l'eau brute n'est pas modifiée par l'aération et on voit apparaître d'assez fortes proportions de nitrites. Enfin à 50°-55° l'épuration est nulle et la boue perd toute activité.

Ces résultats ont une conclusion pratique : la durée d'épuration sera plus longue en hiver qu'en été. A la station de Colombes, par exemple, il faut 3-4 heures pour nitrifier une eau renfermant 20 milligr. d'ammoniaque par litre lorsque la température varie de 1 à 3°, tandis que la même épuration se fait en trois quarts d'heure en été, à 18° ou 20°.

3° Quantité d'air à insuffler : L'air insufflé sert à brasser le mélange servage-boue activée en même temps qu'il fournit l'oxygène nécessaire aux phénomènes de nitrification.

Si on admet qu'en moyenne l'eau d'égout renferme 30 gr. d'ammoniaque par m³ et que d'autre part 1 gr. d'ammoniaque exige 4 gr. 60 d'oxygène, soit 23 gr. d'air, ou 17 litres, pour être transformée en acide nitrique,

l'eau d'égout exigera théoriquement 430 litres d'air par m^3 . En réalité la quantité employée est toujours beaucoup plus considérable, car cette quantité minima nécessaire aux phénomènes de nitrification est insuffisante pour assurer un brassage constant, indispensable à la bonne marche de l'opération.

A Manchester et à Colombes, la quantité d'air employée dans les stations expérimentales est d'environ $6m^3$ par m^3 de servage traité.

Cette quantité n'a rien d'absolu : à Milwaukée où la présence d'eaux résiduaires industrielles gêne le travail des ferments nitrificateurs on estime à $11 m^3$ 250 la quantité d'air nécessaire à l'épuration d'un m^3 de servage.

A Sheffield, par contre, on a réduit la consommation d'air, qui est la partie la plus onéreuse du procédé, grâce à l'emploi d'une roue qui barbotte dans le mélange boue-sewage et en assure le brassage en même temps qu'une aération suffisante.

4° Proportions de boues à employer : Dans leurs expériences de Manchester et de Davyhulme les auteurs anglais ont montré que plus la proportion de boues employée était forte, plus la nitrification était rapide.

Aussi Ardern et Lockett préconisent-ils l'emploi d'un mélange de deux parties de boues pour trois parties de sewage. Mais pratiquement et en raison des difficultés du travail de décantation lorsque les proportions de boues sont trop élevées, c'est la proportion de un de boue à quatre d'eau d'égout qui est la plus couramment employée.

On peut d'ailleurs diminuer cette proportion si le sewage

est très dilué. C'est ainsi qu'à Withington on obtient de bons résultats en employant seulement 15 % de boues.

§ 5

Résultats du traitement des eaux d'égout par les boues activées :

Tous les expérimentateurs ont obtenu de bons effluents, débarrassés de 95 % des matières colloïdales et en suspension, ces effluents sont limpides, ils ne renferment plus d'azote ammoniacal qu'à l'état de traces. Cet azote se retrouve sous forme nitrique mais jamais intégralement : le chiffre de l'azote nitrique est toujours inférieur à celui de l'azote ammoniacal disparu. Enfin, ces effluents sont stables, dépourvus de matière organique putrescible, et l'oxygène absorbé en 4 heures après 8 jours d'incubation n'est jamais supérieur à l'oxygène absorbé en 4 heures avant incubation.

En somme le procédé des boues activées se place au premier rang des procédés d'épuration des eaux d'égout.

CHAPITRE II

MÉCANISME DE L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT PAR LES BOUES ACTIVÉES ET ACTIONS BACTÉ- RIENNES AU COURS DE CETTE ÉPURATION.

(Etat actuel de la question)

Le mécanisme de l'épuration par les boues activées paraît relever : 1° de phénomènes physiques, 2° de phénomènes biologiques.

I. — Phénomènes physiques :

La clarification de l'effluent paraît-être surtout le résultat d'un véritable phénomène de collage réalisé par les boues.

Diénert aérant de l'eau d'égout avec des *boues non activées* a obtenu la disparition de 70 % des matières colloïdales et en suspension. Dans les mêmes conditions les boues activées lui ont fourni une disparition de 93 % de ces mêmes matières.

Nous croyons que ce chiffre élevé peut s'expliquer par la plus grande mobilité des boues activées et par leur

consistance gélatineuse qui leur permet de réaliser un collage plus parfait.

D'autre part comme dans les procédés d'épuration par les précipités minéraux, il est possible qu'il y ait précipitation par simple contact d'un peu de la matière organique dissoute, mais la disparition de cette matière organique dissoute relève surtout des actions microbiennes.

II. — Phénomènes biologiques :

M. Cambier a voulu faire de l'épuration par les boues activées un simple processus physico-chimique. Nous montrons dans un chapitre spécialement consacré à cette question que l'épuration par les boues activées, sous réserve des faits purement physiques que nous venons de signaler, est avant tout un phénomène d'ordre biologique (voir chapitre V).

Nous allons tenir ce fait pour acquis dès maintenant, et étudier les actions microbiennes au cours de l'épuration par les boues activées.

Richesse et détermination de la flore microbienne des boues activées : Le simple examen microscopique direct révèle la présence de très nombreux germes dans la boue activée.

Russel et Bartow ont entrepris l'étude de la flore bactérienne de ces boues, leurs travaux ont été continués par Kaum qui a réussi à isoler dix-neuf germes divers.

MM. P. Courmont et A. Rochaix après une aération très prolongée d'une boue activée en ont isolé sept espèces microbiennes différentes toutes aérobies sauf une qui était aérobie facultative.

Les auteurs se sont proposés d'étudier chacune de ces

espèces microbiennes et de voir si leurs propriétés pouvaient rendre compte des phénomènes que l'on constate dans l'épuration des eaux d'égout : disparition de l'ammoniaque, attaque de la matière organique, phénomènes de nitrification et de dénitrification.

1° *Ferments nitrifiants* : Cambier n'a pu réussir à les isoler à partir des boues activées, plus heureux Kamm a pu les mettre en évidence, et on conçoit l'importance qui s'attache à la présence de ces germes.

2° *Action des germes des boues activées sur les substances organiques ternaires* : Russel et Bartow ont isolé différents germes sporulés ou non susceptibles d'attaquer les substances ternaires.

MM. Paul Coumont et Rochaix ont étudié l'action de chacun des sept germes qu'ils ont isolé de la boue activée sur un certain nombre de substances ternaires. Les résultats qu'ils ont obtenu sont résumés dans le tableau suivant :

<i>Alcools polyatomiques</i>						
<i>Glycérine Mannite Dulcité Sorbite Inosite</i>						
Microbe n° 1.....	0	0	0	0	0	0
» 2.....	+	+	0	+	0	0
» 3.....	0	+	0	0	0	0
» 4.....	0	+	0	+	0	0
» 5.....	+	+	+	+	0	0
» 6 (<i>subtilis</i>)	+	+	0	0	0	0
» 7.....	0	+	0	0	0	0

Pentoses

Seul le xylose a été expérimenté. Le microbe n° 2 possédait seul une action fermentative sur ce sucre.

Hexoses

				<i>Glycose</i>	<i>Lévulose</i>	<i>Galactose</i>
Microbe n° 1.....				+	0	0
» 2.....				+	+	0
» 3.....				+	0	0
» 4.....				+	0	0
» 5.....				0	0	+
» 6.....				+	+	0
» 7.....				0	0	0

Hexobioses

		Saccharose	Maltose	Lactose
Microbe n°	1.....	0	+	0
»	2.....	+	+	+
»	3.....	0	»	0
»	4.....	0	+	0
»	5.....	+	+	+
»	6.....	+	+	0
»	7.....	0	0	0

Autres hydrates de carbone

		Dextrine	Amidon	Glycogène
Microbe n°	1.....	0	0	0
»	2.....	+	0	+
»	3.....	0	0	0
»	4.....	0	0	0
»	5.....	0	0	+
»	6.....	+	0	+
»	7.....	0	0	0

L'examen des tableaux ci-dessus montre que la plupart des substances ternaires sont attaquées par les germes des boues activées. Le *Bacillus subtilis* en particulier paraît susceptible de fermenter la plupart des hydrates de carbone.

2° *Action des germes des boues activées sur les matières quaternaires* : Les substances quaternaires constituent la plus importante partie des matières organiques de l'eau d'égout. L'action des sept germes isolés par MM. Paul Courmont et Rochaix est résumée dans le tableau suivant :

	Microbe						
	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6 (<i>subtilis</i>)	n° 7
Action de l'indol....	+	—	+	+	+	+	—
on sur le sérum agulé	—	—	—	—	—	Liquéfaction presque complète en 8 jours	—
on sur la gélatine.	Liquéfaction très lente	—	—	—	—	Liquéfaction rapide	—
	ne commence qu'au bout de 3 semaines						
on sur le blanc œuf cuit	—	—	—	—	—	+	—
on sur le lait ,,,,	—	—	—	—	—	Sécrète de la présure, mais pas de caséase	—

Notons là encore, les propriétés protéolytiques du *B. subtilis*. Cette attaque des matières albuminoïdes est souvent même poussée très loin. Duclaux a montré que l'action du *B. subtilis* sur la caséine fournissait des acides animés (leucine, tyrovine), des acides gras (acétique, valériannique) de l'eau, du gaz carbonique, de l'ammoniaque. Lemoigne conclut de ses expériences que le *B. subtilis* n'attaque les matières quaternaires que lorsqu'il n'a plus d'hydrates de carbones à sa disposition. En présence de substances ternaires, les produits quaternaires ne sont attaqués que pour assimiler l'azote nécessaire au développement des organismes microbiens.

3° Action sur l'urée : Les germes 1, 2 et 3 transforment l'urée en carbonate d'ammoniaque. Le *B. subtilis* participe également à ce phénomène d'hydrolyse, mais faiblement.

Les germes 4, 5, 7 sont sans action sur l'urée.

Action dénitrifiante : Sur les dix-neuf genres qu'il a isolés des boues activées, Kamm a trouvé huit dénitrifiants.

En ensemençant les sept germes précités dans du bouillon nitraté et dans de l'eau peptonnée nitratée MM. Paul Courmont et Rochaix ont obtenu les résultats suivants (1) :

(1) Grimbart a montré que certains germes sont susceptibles de dégager l'azote des nitrates en solution peptonnée, et il réserve à ces germes le nom de dénitrifiants vrais ; les dénitrifiants indirects sont ceux qui ne produisent leur dégagement d'azote qu'en présence des produits amidés du bouillon.

	Bouillon nitraté	Eau peptonée nitratée
Microbe n° 1...	0	0
Microbe n° 2...	Nitrate décomposé avec dégagement d'azote et formation de nitrites.	Nitrate décomposé avec dégagement d'azote et formation de nitrites.
Microbe n° 3...	Id.	Réaction moins énergi- que qu'en bouillon ni- traté.
Microbe n° 4...	Id.	Id.
Microbe n° 5...	Dégagement d'azote et formation de nitrites.	Formation de nitrites sans dégagement de gaz.
Microbe n° 6... (<i>B. subtilis</i>)....	Réaction de Griess posi- tive, mais limitée à la partie supérieure de la culture, au contact du voile microbien. Lorsque le voile est dis- socié, la réaction de- vient très positive avec dégagement ga- zeux abondant.	Mêmes phénomènes qu'en bouillon nitraté, mais moins rapides et moins intenses.
Microbe n° 7...	0	0

En somme cinq microbes sur sept se comportent comme des dénitrifiants directs, dont quelques-uns se montrent très actifs. Pour le *B. subtilis* en particulier, Lemoigne a montré qu'il agissait comme dénitrifiant chaque fois qu'il se trouvait simultanément avec des nitrates, des matières oxydables et de l'air. Dans ces conditions l'oxygène des nitrates est utilisé pour oxyder cette matière organique, mais non pour la vie des microbes.

Conclusion : Les actions microbiennes que nous venons d'étudier rendent bien compte des phénomènes observés au cours de l'opération par les boues activées.

La matière organique est attaquée par les ferments figurés des boues et l'ammoniaque qui résulte de cette désintégration est oxydée par les germes nitrificateurs. Une partie de l'azote nitrique ainsi formé se dégage à

l'état gazeux sous l'influence des ferments dénitrifiants, et l'oxygène libéré en même temps s'en va oxyder une autre partie de la matière organique.

Lemoigne considère le *B. subtilis* comme l'agent à peu près unique des phénomènes de désintégration et de dénitrification constatés dans les lits bactériens. Dans le procédé des boues activées le *B. subtilis* continue ces mêmes actions, mais il paraît être aidé dans son travail par d'autres germes dont l'action est souvent loin d'être négligeable.

CHAPITRE III

RECHERCHES PERSONNELLES. RESULTATS CHIMIQUES

Dans ce chapitre sont exposés les moyens que nous avons employés pour obtenir les boues activées et les résultats chimiques que le procédé a fourni entre nos mains. Nous étudierons plus spécialement le rythme de disparition de l'ammoniaque et de la matière organique, points sur lesquels, il n'y a pas unité de vue entre les auteurs.

§ I

Obtention des boues activées

La préparation de boues activées était nécessairement à la base de nos expériences. Nous avons employé pour cette préparation les différents procédés publiés et nos résultats n'ont fait que confirmer les faits connus.

Dispositif d'aération : Dans toutes nos expériences le liquide soumis à l'aération était mis dans des ballons de capacité variant de 1 à 10 litres et remplis aux 3/4 environ par le mélange sewage-boue. Le bouchon de caout-

chouc de chaque ballon portait deux tubulures, l'une communiquant avec l'atmosphère plongeait jusqu'au fonds du ballon, l'autre partant du col du ballon était mise en communication avec une trompe aspirante à eau. Sous l'influence de cette trompe l'air arrivait par la première tubulure à la partie inférieure du liquide en expérience et assurait le brassage de ce dernier.

Résultats : 1° Nous avons échoué en tentant d'activer une boue recueillie au fond d'un égout, et soumise à une aération continue en présence de trois fois son volume de servage.

L'aération fut commencée le 9 octobre et 43 jours après — le 23 novembre — le liquide surnageant les boues ne renfermait ni nitrites ni nitrates : on constatait à peine une légère diminution de l'Azote ammoniacal.

2° Nous avons cherché le temps nécessaire à la nitrification d'un sewage brut soumis à l'aération continue.

De l'eau d'égout fut mise en expérience le 23 novembre, le 2 janvier, soit 40 jours après, la disparition de l'Ammoniaque était complète.

Notons qu'au cours de cette expérience la température du laboratoire fut souvent inférieure à 5°, et que l'aération fut suspendue à plusieurs reprises en raison des gelées qui arrêtaient la trompe à eau.

Analyse de l'eau	le 23 novembre	le 2 janvier
Chlorures en N a Cl	53	67
Azote ammoniacal	24	traces
Azote albuminoïde	7	traces
Azote des nitrites	0	0
Azote des nitrates	traces	19
Matières organiques		
O absorbé en 4 heures	9,2	4,3

Nous n'avons pas continué l'activation du volume minime de boue ainsi obtenu, car nous avons vu précédemment que les expériences faites à Manchester ont montré que le procédé d'obtention des b. a. était de beaucoup plus long.

3° Pour obtenir les boues activées qui ont servi à nos expériences nous avons employé le procédé dit des boues partiellement activées.

Le 6 décembre nous avons commencé l'accumulation des boues : deux ballons l'un de dix litres de capacité, l'autre de huit litres furent remplis au $\frac{3}{4}$ de sewage brut additionné d'environ 100 gr. d'humus délayé dans de l'eau ; le tout fut soumis à l'aération pendant 34 heures. Au bout de ce temps et après un repos de 2 heures l'eau surnageant les boues sédimentées fut siphonnée et remplacée par de nouvelle eau brute qui fut soumise à l'aération jusqu'au lendemain. Le lendemain elle fut décantée après un repos de 2 heures ; ces décantations et remplissages successifs furent répétés 18 fois en 22 jours.

Le 28 décembre la quantité de boue accumulée (2 litres $\frac{1}{2}$ pour un ballon et 1 litre $\frac{1}{2}$ pour l'autre, mesurés après un repos de 2 heures) fut jugée suffisante et on en entreprit l'activation complète. Pour cela les boues mises en contact de 3 fois environ leur volume de sewage brut furent soumises à une aération continue jusqu'au 6 janvier. A cette date et bien que l'ammoniaque n'eut pas complètement disparu de l'eau en expérience, cette eau fut décantée et remplacée par de nouvelle eau brute.

L'eau mise le 6 janvier donna une réaction négative au Nessler le 11 janvier.

L'eau mise le 11 janvier donna une réaction négative au Nessler le 13 janvier.

L'eau mise le 13 janvier donna une réaction négative au Nessler le 15 janvier.

Enfin le 24 janvier le temps nécessaire à la disparition de l'ammoniaque variait de 6 à 7 heures selon les sewages traités. A cette date nous avons ajouté 236 milligr. de Chlorhydrate d'ammoniaque, soit 76 milligr. d'ammoniaque par litre. Ces 100 milligr. d'ammoniaque ont mis 24 heures pour disparaître, ce qui représente sensiblement une disparition de 20 milligr. d'ammoniaque en 5 heures ; nos boues avaient donc l'activité exigée par la définition que nous avons donné des boues activées.

En résumé il nous a fallu 22 jours pour l'accumulation des boues et 27 jours pour en réaliser l'activation, soit en tout 49 jours.

4° Enfin nous avons préparé des boues activées minérales : Dans un ballon de 2 litres 1/2 de capacité furent mis 250 gr. de carbonate de chaux précipité, 20 cm³ de boues activées et un litre d'eau de la canalisation du laboratoire additionnée de 50 milligr. d'ammoniaque (sous forme de chlorhydrate).

Au bout de 6 jours l'ammoniaque avait disparu et on constatait l'apparition de 22 milligr. d'azote nitrique. L'eau décantée fut remplacée par un litre d'eau additionnée d'ammoniaque qui fut oxydée en 4 jours. Enfin 22 jours après le début de l'expérience le dépôt minéral était susceptible de nitrifier 20 milligr. d'ammoniaque en 5 heures.

CONCLUSION : *L'échec de notre essai d'activation des*

boues recueillies au fond d'un égout montre que la plupart des ferments nitrifiants devaient avoir disparu de cette boue longuement submergée. Les quelques ferments apportés par l'eau d'égout mise en contact avec les boues n'ont pu se développer en raison de l'excès de matière organique dont on connaît de longtemps l'influence inhibitrice vis-à-vis de ces ferments. Les autres résultats n'ont fait que confirmer les faits connus.

§ 2

Résultats chimiques de l'épuration des eaux d'égout par le procédé des boues activées.

Nous nous sommes bornés à constater avec les auteurs français et anglais que le procédé des boues activées fournissait un effluent bien épuré, dépourvu d'ammoniaque, non putrescible.

Nous nous sommes particulièrement attaché à déterminer le rythme de disparition de l'ammoniaque au cours de l'épuration ainsi que le rythme et le taux de disparition de la matière organique.

Épuration chimique de l'effluent :

Pour étudier cette épuration des quantités de sewage brut variant de 1 litre à 6 litres, ont été soumises à l'aération forcée en présence du quart de leur volume de boue activée jusqu'à disparition complète de l'ammoniaque, prise comme terme de l'épuration. A ce moment, l'eau d'égout brute et un échantillon de l'eau décantée après sédimentation des boues activées ont été prélevées aux fins d'analyse.

Analyse des sewages et effluents : Cette analyse comprenait : l'appréciation des caractères physiques : couleur, odeur, limpidité, puis les déterminations chimiques suivantes : chlorures, azote ammoniacal libre ou salifié, azote albuminoïde, azote total, azote nitreux, azote nitrique, matières organiques en 4 heures, avant et après incubation.

A. MÉTHODES D'ANALYSE

Chlorures : Ils ont été dosés par la méthode de Mohr : 100 cm³ d'eau d'égout sont additionnés de 5 gouttes d'une solution de chromate jaune de potassium 1/10 pris à l'aide d'une burette de Mohr on fait tomber goutte à goutte une solution de nitrate d'argent faite avec : solution N/10 Nitrate d'argent 17 cm³ ; Eau distillée q. s pour 100 cm³. Dans les conditions de l'opération (100 cm³ d'eau) il suffit de faire la lecture en 1/10 de cm³ de solution N/10 employés, ce chiffre représente en milligr. la quantité par litre de chlorures, exprimée en chlorure de sodium.

Azote ammoniacal libre ou salifié : 50 cm³ d'eau d'égout sont étendus à 150 cm³ avec de l'eau distillée exempte d'ammoniaque, puis distillés à l'appareil d'Aubin jusqu'à obtention de 100 cm³ environ de distillat. Dans ce liquide l'ammoniaque est dosée colorimétriquement après dilution par Nesslerisation, par comparaison avec une solution type de chlorhydrate d'ammoniaque dont 1 cm³ = 1/100 de milligr. d'azote ou 0.0125 d'ammoniaque.

Azote albuminoïde : Déterminé soit en retranchant de l'azote total l'azote ammoniacal, soit directement de la façon suivante : Au contenu du ballon après la distillation précédente on ajoute 50 cm³ environ d'une solution alcaline

line de permanganate de potassium puis on ajoute environ 100 cm³ d'eau distillée exempte jusqu'à obtention de 100 cm³ de distillat dans lequel on dose l'ammoniaque comme précédemment.

Azote total : Déterminé par la méthode de Kjehldahl : A 100 cm³ d'eau d'égout ajouter 5 cm³ d'acide sulfurique concentré puis 1 cm³ d'une solution à 10 % de sulfate de cuivre.

Chauffer le mélange dans un ballon en verre d'Iéna jusqu'à production de vapeurs blanches, à ce moment fermer le ballon par une ampoule de verre, continuer à chauffer jusqu'à décoloration et laisser digérer à chaud 1/2 heure après que le mélange est devenu incolore ; au liquide encore chaud ajouter avec précaution 0 gr. 50 de permanganate cristallisé. Diluer à 250 cm³, laisser refroidir, neutraliser exactement le liquide en présence de phénolphthaléine et doser l'ammoniaque par la méthode de Ronchèse.

Pour cela amener le liquide précédent à 200 cm³, en prélever 250 cm³, ajouter 30 cm³ d'une solution au demi de formol commercial récemment neutralisée par la soude puis faire tomber goutte à goutte une solution N/10 de soude à l'aide d'une burette de Mohr jusqu'à coloration rose persistante.

1 cc Na O H = 0,0017 Ammoniaque ou 0,0014 N

Dans les conditions de l'expérience

$$\text{Az T} = x \times 0,0014 \times 20 \left(1 + \frac{1}{30}\right)$$

Azote nitreux : Recherché et dosé par le réactif au chlorure de zinc de Tromsdorff. A 50 cm³ d'eau d'égout on ajoute 1 cm³ de réactif et un peu d'acide sulfurique étendu. On dose colorimétriquement par comparaison avec

une solution de nitrite de soude telle que $1 \text{ cm}^3 = 1/10$ de milligr. de $\text{N}^2 \text{ O}^3$.

Azote nitrique : Dosé par la méthode de Granval et Lajoux (réactif sulfophéniqué). Mais une difficulté naît de ce fait que le réactif nelfophéniqué ne marche que si le liquide en exuérice ne renferme des quantités de chlorures inférieures à 30 milligr. par litre, or l'eau d'égout renferme toujours beaucoup plus de 30 milligr., il y a donc lieu d'éliminer le chlorure en excès.

Pour cela on titre préalablement le taux des chlorures de l'eau d'égout, par la méthode de Mohr, et on calcule la quantité de sulfate d'argent qu'il faudra ajouter à l'eau pour précipiter intégralement les chlorures qui s'y trouvait. Rolants indique à cet effet une solution à 4,40 % de sulfate d'argent dont $1 \text{ cm}^3 = 0,01$ de Cl. *Nous n'avons pas pu préparer une telle solution*, le sulfate d'argent que nous avons employé n'ayant pas un coefficient de solubilité suffisant, l'agenda des physiciens français indique d'ailleurs 7 gr. 72 comme solubilité 0/00 de ce corps à 15° .

En conséquence pour précipiter ces chlorures nous avons préparé une solution à 7 0/00 de sulfate d'argent, puis par comparaison avec une solution de chlorure, nous avons préparé une solution empirique de nitrate d'argent dont 1 cm^3 correspondait exactement à 1 cm^3 de la solution de sulfate d'argent, cette solution répondait à la formule suivante :

Solution N/10 Nitrate d'Argent	9 cm^3 5
Eau distillée q. s. pour	20 cm^3

On cherche par la méthode de Mohr quelle quantité de

solution de Nitrate d'Argent il faut ajouter à 50 cm³ d'eau d'égout pour précipiter tous les chlorures, soit x ce chiffre, on mesure d'autre part 25 cm³ eau d'égout, y ajoute $\frac{x}{2}$ cm³ de la solution de sulfate d'argent, on filtre après un instant de repos, on prélève 10 cm³ du filtrat, évapore au (B. M.), traite par le réactif de Granval et Lajoux et on dose colorimétriquement par rapport à une solution type de Nitrate de potasse dont 1 cm³ = 0 mgr. 001 d'Azote nitrique.

Le résultat multiplié par 100 donne la dose d'Azote nitrique par litre.

Matières organiques : Oxygène consommé en 4 heures avant incubation. 50 cm³ d'eau à analyser sont additionnés de 5 cm³ d'acide sulfurique à 1/5 et de 20 cm³ d'une solution de permanganate faite en prenant :

Solution N/10 permanganate de potassium 125 cc.

Eau distillée q. s. pour 1 litre

(1 cm³ de cette solution correspond 1/10 de milligr. d'oxygène).

On laisse 4 heures en contact à la température du laboratoire au bout de ce temps on ajoute 4-5 cm³ d'une solution d'Iodure de potassium à 1/5 et on titre l'Iode mis en liberté à l'aide d'une solution d'hyposulfite dont 1 cm³ correspond à 2 cm³ de la solution de permanganate précédente.

Soit x le nombre de cm³ d'hyposulfite employé, 20 - 2 x représente le nombre de cm³ de permanganate réduit par l'eau en 4 heures, le nombre de cm³ de permanganate Ce chiffre multiplié par 20 donne en milligr. la quantité d'oxygène absorbé qui par convention représente la matière organique par litre d'eau analysée.

Oxygène consommé en 4 heures après 8 jours d'incubation : Un flacon bouchant à l'émeri est rempli d'eau en expérience, on l'abandonne pendant 8 jours à la température du laboratoire, au bout de ce temps on dose la matière organique d'après la technique indiquée ci-dessus. Si l'effluent renfermait des matières putrescibles il se sera formé pendant la fermentation réductrice, puisqu'en vase clos, des produits réducteurs notamment des sulfures, dans ce cas l'Oxygène absorbé après incubation sera supérieur à l'Oxygène absorbé avant.

B. RÉSULTATS

1° Résultat généraux : Nous donnons à titre d'exemple les analyses de trois eaux d'égout brutes et celle des trois effluents correspondants (les résultats sont exprimés en milligr. 0/00).

	1 ^{er} EXEMPLE Eau prélevée le 11 janvier à l'égout du Pont du Midi (rive gauche du Rhône).		2 ^{me} EXEMPLE Eau prélevée le 19 janvier même endroit		3 ^{me} EXEMPLE Eau prélevée le 7 février même endroit	
	Avant épuration	Après 6 h. d'aération.	Avant épuration	Apr. 5 h 12 d'aération	Avant épuration	Après 6 h. d'aération
Nacl	0,68	0,72	0,54	0,65	0,82	0,72
Az ammoniacal ..	22,4	traces	17,2	traces	25,7	2,1
Az albuminoïde ..	3,7	traces	4,1	1,7	3,9	1,5
Az total	26,1		21,3	1,7	29,6	1,5
Az nitraux	traces		0	0	0	0
Az nitrique	1,5	17,5	0	14,1	0	16,1
O absorbé en 4 h. avant incubation	9,3	4,4	6,8	3,7	7 3	3,5
O absorbé en 4 h. après incubation.	11,8	4,7	9,1	3,7	9,9	3,6

Les trois effluents ci-dessus se sont montrés clairs, l'odeur fécaloïde de l'eau brute était remplacée par une odeur vaseuse.

En somme, nos effluents se sont toujours montrés limpides, dépourvus de mauvaise odeur, à peu près exempts d'ammoniaque, riches en nitrates dont l'apparition a suivi légèrement décalée la disparition de l'ammoniaque. Enfin ces effluents se sont montrés stables après incubation.

En bref nos résultats n'ont fait que confirmer dans leurs grandes lignes les résultats publiés jusqu'à ce jour. Nous avons simplement obtenu des divergences de détail que nous allons passer en revue maintenant.

2° Rythme de la disparition de l'ammoniaque au cours de l'épuration des eaux d'égout par les boues activées : La disparition de l'ammoniaque est un des phénomènes les plus frappants du processus d'épuration, par les boues activées. Les auteurs anglais, Ardern et Lockett notamment, n'attribuent à cette disparition qu'une importance secondaire, ils considèrent la disparition de la matière organique comme beaucoup plus intéressante. C'est l'étude de cette dernière qui leur sert de critérium d'épuration. En France, les hygiénistes qui se sont occupés de la question ne tiennent une eau pour épurée que lorsque l'ammoniaque a complètement disparu. Mais alors qu'à la station expérimentale de Colombes, M. Dienert a vu la disparition de l'ammoniaque suivre une allure logarithmique, M. Beslier conclut de ses expériences que cette disparition est proportionnelle au temps.

Nous avons institué cinq expériences en vue d'étudier la disparition de l'ammoniaque, et d'autre part nous

avons eu, au cours d'autres expériences, fréquemment l'occasion de suivre cette disparition.

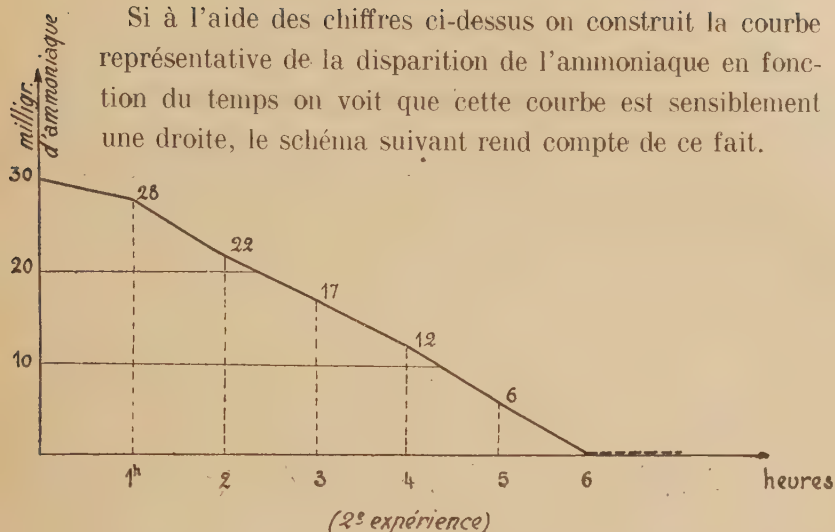
a) *Expériences* : De l'eau d'égout brute (expériences 1 et 2) ou additionnée d'ammoniaque sous forme de chlorhydrate (expériences 3, 4 et 5), est mise en contact avec le quart de son volume de boue activée et soumise à l'aération. Des prises d'essai sont effectuées périodiquement au cours du soufflage. Dans chacune de ces prises d'essai on a dosé l'ammoniaque selon la technique exposée plus haut.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

TEMPS EXPRIMÉ EN HEURES	0	1 2	1	2	3	4	5	6	9	24	27	30	33	48	51
Ammoniaque en milligr. dans la :															
1 ^{re} expérience (sewage seul)	23		19	15	11	6	2	traces							
2 ^{me} expérience (sewage seul)	30		28	22	17	12	6	traces							
3 ^{me} expérience (sewage + 76 milligr. Anil.)	100				89			80	68	5	traces	traces			
4 ^{me} expérience (sewage + 68 milligr. Anil.)	100				90			81	73	22	12	4	traces		
5 ^{me} expérience (sewage + 170 milligr. Anil.)	200				185			172		109	98	88		13	traces

Tableau résumant la courbe de l'ammoniaque

Si à l'aide des chiffres ci-dessus on construit la courbe représentative de la disparition de l'ammoniaque en fonction du temps on voit que cette courbe est sensiblement une droite, le schéma suivant rend compte de ce fait.



Courbe schématisant la disparition de l'ammoniaque en fonction du temps

b) A part les cinq expériences précédentes, faites spécialement en vue d'étudier la disparition de l'ammoniaque, nous avons eu fréquemment l'occasion de suivre cette disparition, puisqu'elle nous servait de témoin du degré d'épuration des eaux que nous avons traitées. Nos résultats ont été les mêmes que ceux détaillés ci-dessus.

En somme : Dans nos expériences la disparition de l'ammoniaque au cours d'épuration des eaux d'égout par les boues activées, est fonction linéaire du temps.

3° *Rythme et taux de disparition de la matière organique au cours de l'épuration des eaux d'égout par le procédé des boues activées :* Les chiffres fournis par la plupart des auteurs, en ce qui concerne la matière organique, disparue sous l'influence de l'aération forcée sont éminemment satisfaisants.

C'est ainsi que Ardern et Lockett, à Manchester, ont obtenu couramment une disparition de 80-90 % de la matière organique. Wakeford, dans ses résultats d'expériences faites à Wakefield, donne des proportions oscillant autour de 90 %. Chalken, Hatton et William R. Coppeland, ont obtenu les mêmes degrés élevés d'épuration à la station de Milwaukee. En France, M. Bellier, a constaté la disparition de quantités s'élevant à 95 % de la matière organique primitive. Par contre M. Diénert, à Colombe, n'a jamais pu obtenir une réduction dépassant sensiblement 50 % de cette même matière organique. D'autre part, alors que dans les expériences des auteurs américains et anglais les hauts degrés d'épuration mentionnés ont été atteint rapidement, en 1 heure ou 2 ; il a fallu à Colombes attendre la fin du soufflage et la disparition de l'ammoniaque pour voir la matière organique tomber à 50 % de son taux initial.

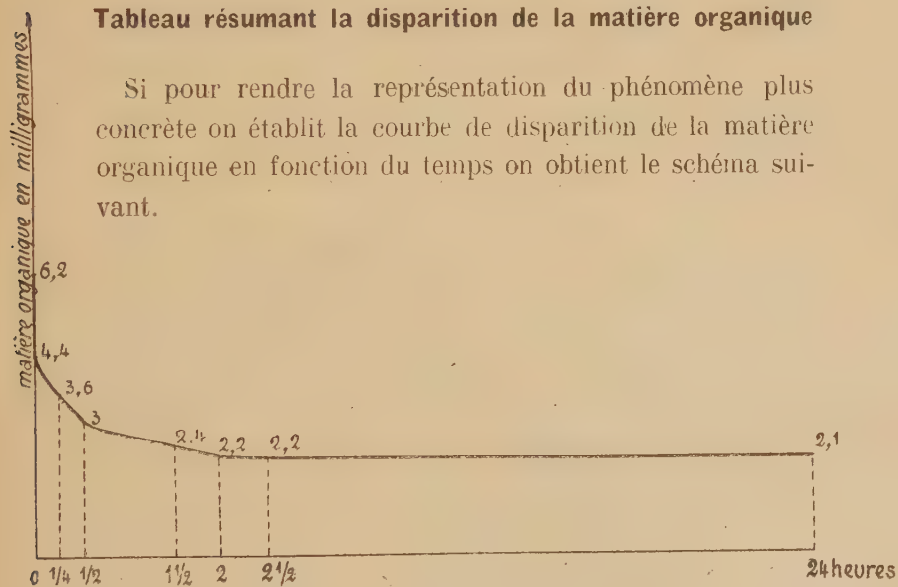
Nous allons donc examiner cette question de la disparition de la matière organique sous son double aspect : taux et rythme.

Expériences : Des quantités d'eau d'égout variant de 2 à 6 litres ont été aérées en présence du quart de leur volume de boues activées pendant des temps variant de 6 à 72 heures. Des prises d'essai faites au cours de la période d'aération ont permis de suivre la disparition de la matière organique. Douze expériences sont résumées dans le tableau suivant où la matière organique est représentée par l'oxygène consommé en 4 heures en milieu acide (en milligr.) et le temps est exprimé en heures. Le temps 0 représente l'instant du mélange de la boue activée et du sewage.

MATIÈRE ORGANIQUE (O ABSORBÉ EN 4 HEURES)	Dans le sewage brut	Dans le mélange sewage-boue activée après une période d'aération de														
		0	1/4	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	24	48	72
Au cours de l'expérience																
N° 1	8,4	5,6												2,8		
2		7,1											3,6	3,5		
3	9,6	7,2		5,4	5	4,4							3,6	3,7	3,6	3,6
4		3,7		2,9		2,6	2,2		2,1				2,1	2,1		
5	6,2	4,4	3,6	3		2,4	2,2	2,2						2,2	2,2	
6	12,4	9,1		7,8	7			4,8			4,7		4,8	4,8	4,8	4,9
7	8,3	5,9							2,9		2,7		2,7	2,7		
8		7,4			5,2			3,7					3,7	3,8		
9		9,3					4,6							4,4		
10	7,3	5,2				3,6	2,9	2,5					2,5			
11	7,4	5,4		4,1			3,2	2,8					2,7	2,8		
12	6,2	4,8											2,4			

Tableau résumant la disparition de la matière organique

Si pour rendre la représentation du phénomène plus concrète on établit la courbe de disparition de la matière organique en fonction du temps on obtient le schéma suivant.



(5^e expérience)

Courbe schématisant la disparition de la matière organique en fonction du temps

CONCLUSIONS :

1° Taux limite de disparition de la matière organique :

Les chiffres du tableau ci-dessus montrent que le rapport (matière organique de l'effluent ; matière organique du servage), pris comme expression du taux d'épuration varie dans nos expériences de 61 à 68 %.

En aucun cas il n'atteint les pourcentages élevés signalés par les auteurs anglais et par M. Bellier, mais toujours il se montre supérieur aux résultats obtenus par M. Diénert.

Si l'on considère le rapport (*matière organique de l'effluent ; matière organique du mélange sewage boue activée*), on constate que ce rapport est toujours peu différent de 50 %.

Souvent même (exp. 3, 5, 8, 11 et 12) il est rigoureusement égal à 50 % et les chiffres que nous avons trouvé à priori en appliquant cette remarque n'ont jamais différé d'une façon appréciable des chiffres que nous a fournis par la suite l'expérience.

2° Rythme de disparition de la matière organique :

Si nous considérons les résultats des 12 expériences ci-dessus, nous voyons que le taux de la matière organique diminue brusquement, par simple mélange avec les boues activées.

Pendant la durée du soufflage, la disparition de la matière organique intense au début, va sans cesse décroissant pour atteindre son taux-limite en 2 heures $\frac{1}{2}$ en moyenne, le taux limite n'est jamais dépassé, même lorsqu'on prolonge pendant plusieurs jours la durée de l'aération.

La continuité de la courbe que nous reproduisons à titre d'exemple, montre que la disparition de l'ammoniaque suit une allure décroissante assez régulière.

CHAPITRE IV

RECHERCHES PERSONNELLES. - RESULTATS BACTERIOLOGIQUES

Dans ce chapitre sont exposés les résultats que nous avons obtenus au point de vue de l'épuration bactérienne au cours du traitement du servage par les boues activées, de la diminution ou de la disparition des germes pathogènes, susceptibles de se propager par l'eau (colibacille, bacilles typhiques et paratyphiques, vibrion cholérique).

§ 1

Epuration bactérienne de l'effluent au cours du traitement du servage par les boues activées

Si nous comparons les résultats de l'épuration bactérienne obtenue par les différents expérimentateurs du procédé, nous relèverons les mêmes discordances que nous avons signalées pour les résultats cliniques. A Manchester et à Davyhulme, la réduction du nombre des germes atteint couramment 95 % du chiffre primitif. Chalkey, Hatton et William R. Coppeland obtiennent les mêmes résultats à

la station de Milwaukee. Par contre, M. Diénert donne 50 % comme moyenne de ses expériences faites à Colombes.

MM. Paul Courmont et A. Rochaix ont atteint un haut degré d'épuration bactérienne de leurs effluents, mais dans des conditions expérimentales notablement différentes des conditions normales des opérations pratiques d'épuration : au lieu de soumettre le servage à l'aération en présence de boues activées jusqu'à disparition de l'ammoniaque, ils prolongent cette aération bien au-delà de sa durée normale. Dans ces conditions ils ont obtenu les résultats suivants :

Eau épurée n° 1 :

a) Numération avant traitement :

Microbes aérobies : 154.000.000 au cm³.

Microbes anaérobies : 48.000.000 au cm³.

b) Numération après traitement :

Microbes aérobies : 65.187 au cm³.

Microbes anaérobies : 2.400 au cm³.

Ces microbes anaérobies appartenaient à la même espèce qui a été reconnue être aérobie facultative.

Eau épurée n° 2 (après traitement) :

58.600 germes aérobies au cm³ et 800 germes anaérobies facultatifs.

Ainsi donc MM. Courmont et Rochaix ont obtenu une épuration bactérienne considérable.

Nous même, étudiant le temps nécessaire à la nitrification d'une eau d'égout *sans boues activées* dans une expérience qui est rapportée plus haut, avons vu la flore

bactérienne de cette eau passer de 4.250.000 germes aéro-bies au cm^3 à 202.000 en 32 jours.

Mais les numérations que nous avons faites dans des effluents aérés en présence de boues activées pendant le temps strictement nécessaire à la disposition de l'ammoniaque, prise comme terme de l'épuration nous ont donné des différences beaucoup moins importantes.

Expériences : De l'eau d'égout en quantité variant de 1 à 6 litres est mise en contact avec $\frac{1}{4}$ de son volume de boue activée, le mélange est aéré jusqu'à disparition de l'ammoniaque. Une numération bactérienne est faite dans l'eau d'égout brute après repos et une autre dans l'effluent décanté après sédimentation des boues.

Pour cela les prises d'essai effectuées dans l'eau d'égout brute et dans l'effluent sont diluées aseptiquement à $\frac{1}{100.000}$ dans l'eau distillée stérilisée, 1 cm^3 de chacune de ces dilutions estensemencé dans 20 cm^3 de gélatine petto salée et le mélange est établi dans une boîte Pétri. Les numérations ont été faites chaque jour jusqu'au quinzième jour. Si la liquéfaction de la gélatine se produit avant ce terme, on se sert des tables de Vincent. Opérant dans ces conditions nous avons obtenu les résultats suivants :

	Durée d'aération	Nombre de germes aérobie en cm^3 dans le sewage dans l'effluent	
1 ^{re} expérience	6 heures	5.480.000	4.620.000
2 ^e —	5 —	4.600.000	2.500.000
3 ^e —	5 —	7.400.000	3.300.000
4 ^e —	6 —	4.100.000	4.300.000
5 ^e —	6 —	17.200.000	8.630.000

Dans trois autres expériences la numération a été rendue impossible par l'envahissement rapide de la gélatine par les germes liquéfiant.

Nous n'avons pas jugé utile de multiplier ces expériences, dont les résultats nous ont paru être très irréguliers. Dans un cas (exp. n° 4) la flore bactérienne de l'effluent était plus riche que la flore de l'eau d'égout qui lui avait donné naissance. Les résultats les plus favorables que nous avons obtenus (expérience n° 2) ne dépassent guère 50 % de diminution des germes aérobies. Nous sommes loin des résultats éminemment favorables que le procédé a fourni dans les mains des expérimentateurs américains ou anglais.

Conclusions : L'épuration bactérienne du servage traité par les boues activées nous a paru être un phénomène très irrégulier, mais en général elle s'est toujours montrée assez peu marquée. On n'obtient une épuration bactérienne véritable qu'en prolongeant de façon notable l'aération, comme l'ont montré MM. Paul Courmont et Rochaix.

§ 2

Disparition des germes pathogènes dans les eaux d'égout traitées par le procédé des boues activées

Du point de vue chimique nous avons constaté que le procédé des boues activées fournissait de bons effluents, dépourvus d'ammoniaque, stables, non putrescibles, puis nous avons vu que l'épuration bactérienne paraissait être beaucoup moins satisfaisante.

Il nous a paru intéressant de rechercher si les germes pathogènes qui se propagent surtout par l'eau et que l'on rencontre dans l'eau d'égout en temps d'épidémie disparaissent au cours du traitement des servages par les boues activées, et si conséquemment on pourrait, sans inconvénient pour les riverains de l'aval, déverser dans une rivière les effluents ainsi traités.

Nous étudierons donc la disposition des bacilles du groupe typhique et celle de leur témoin de contamination, le colibacille, puis celle du vibrion cholérique au cours de l'épuration par les boues activées.

A. Disparition du colibacille au cours de l'épuration des eaux d'égout par les boues activées.

Bien que le colibacille ne soit pas à proprement parler un germe pathogène nous l'avons classé dans cette étude près des bacilles typhique et paratyphiques. Il est en effet extrêmement voisin de ces germes et on sait qu'il leur sert de témoin de contamination des eaux.

MM. Courmont et Rochaix n'ont pas retrouvé le colibacille dans la flore d'une eau d'égout soumise à une aération longuement prolongée en présence de boues activées.

Nous avons étudié l'action de l'aération forcée.

1° Dans un eau d'égout aérée en dehors de la présence de boues activées.

2° Dans des eaux d'égout soumises aux conditions normales de l'épuration.

1° *Technique* : Nous avons suivi la technique de Vincent pour l'isolement du colibacille.

Une dilution faite aseptiquement à 1/100 d'eau brute

ou d'eau épurée a étéensemencée en proportion variant de 1/10 de cm^3 à 5 cm^3 en eau pepto salée phéniquée à raison d'une goutte de solution phéniquée à 5 % pour 2 cm^3 de milieu.

Cesensemencements ont été placés pendant 14-16 heures à l'étuve à $41^{\circ},5$; les tubes qui ont poussé au bout de ce temps ont été repiqués en eau pepto salée phéniquée et mis à nouveau à l'étuve à $41^{\circ},5$ pendant 5 ou 6 heures. Une dose de la culture ainsi obtenue a été étalée sur une boîte de Pétri renfermant de la gelose lactosée tournesolée. La boîte a été mise pendant 24-36 heures à l'étuve à 37° . Les colonies qui ont viré le milieu au rouge ont été examinées au microscope. Celles qui ont été reconnues pour formées de bacilles à Gram négatif, et mobiles après dilution dans l'eau, ont étéensemencées en bouillon au rouge neutre et en eau pepto salée.

Au bout de 48 heures le rouge neutre a viré et la réaction de l'indol est positive si on a à faire au colibacille.

Formules des milieux employés :

<i>Eau pepto salée :</i>	Peptone 10
	Chlorure de sodium 5
	Eau q. s. p. 1000 cm^3

filtrer, stériliser et répartir à raison de 10 cm^3 par tube.

Bouillon peptoné au rouge-neutre : Dans 1/2 litre d'eau faire cuire 125 gr. de viande de bœuf, puis ajouter peptone 10 gr. et sel marin 10 gr., ramener à $\frac{1}{2}$ litre avec de l'eau, faire bouillir à nouveau puis laisser reposer, décantier avec précaution et ajouter 5 cm^3 d'une solution 5 % de rouge neutre. Stériliser à l'autoclave à 115° pendant 1/2 heure.

Gelose lactosée tournesolée : Gelose ordinaire 3 % 100 cm³
Lactose 2 gr.
T^{re} tournesol de Poulenc 2 cm³

Répartir en tubes de 10 cm³ et couler en boîte de Pétri au moment du besoin.

Réaction de l'Indol :

Réactif avec : Paramido benzaldchide 2 gr.
Alcool à 95° 100 cm³

Pour faire la réaction de l'indol prendre : culture en eau pepto salée 10 cm³, réactif 5 cm³, acide sulfurique par 1 cm³. Mélanger. Coloration rose si indol.

RÉSULTATS :

1° Eau d'égout brute soumise à l'aération pendant 32 jours et sans boues activées :

Numération du colibacille avant : 100.000 colibacilles par litre.

Numération du colibacille après : 5.000 colibacilles par litre.

2° Eaux d'égout aérées en présence de boues activées jusqu'à disparition de l'ammoniaque (conditions habituelles de l'épuration).

Les mêmes expériences qui ont servi aux numérations bactériennes rapportées plus haut nous ont servi à numérer le colibacille. L'eau servant aux dilutions était prélevée 1°) dans le servage brut ; 2°) dans l'effluent après sédimentation des boues.

2° Résultats :

	Temps d'aération en heures	Nombre de colibacilles par litre dans le servage brut	dans l'effluent
1 ^{re} expérience	6 heures	800.000	200.000
2 ^e —	5 —	200.000	250.000
3 ^e —	5 —	500.000	200.000
4 ^e —	6 —	50.000	50.000
5 ^e —	6 —	200.000	100.000
6 ^e —	6 —	100.000	100.000
7 ^e —	5 —	250.000	200.000
8 ^e —	6 —	500.000	700.000

3° Conclusions :

1° Notre expérience rapportée dans le premier paragraphe confirme les résultats obtenus par MM. Courmont et Rochaix : soumis à une aération prolongée le colibacille disparaît, sa disparition eut peut être été complète si comme MM. Courmont et Rochaix nous avions opéré en présence de boues activées.

2° Les 8 expériences résumés dans le tableau ci-dessus montrent que la disparition par les boues activées est un phénomène essentiellement variable.

Dans un cas (exp. 2) le chiffre trouvé après épuration est supérieur au chiffre définitif, dans deux cas (exp. 4 et 6) il est égal à ce chiffre, enfin le maximum de disparition constaté a été de 4/5 du chiffre primitif (expérience 8).

En bref, la disparition du colibacille dans les eaux d'égout traitées par le procédé des boues activées est un phénomène irrégulier et peu marqué.

B. Disparition du B. typhique et des paratyphiques au cours de l'épuration des eaux d'égout par les b. a.

L'étude que nous avons faite de l'action de l'aération forcée sur le bacille typhique et sur les paratyphiques n'est valable que pour les races de bacilles que nous avons eu à notre disposition au laboratoire, puisque Jordan, Russel et Zeit ont montré que les races typhiques étaient différemment résistantes à la concurrence vitale dans les eaux.

Néanmoins il est probable que ces différences de résistance n'ont pu influencer nos résultats d'une façon notable. Au reste nos conclusions n'ont aucune prétention à l'absolu et il est tant de facteurs susceptibles d'entrer en action dans des phénomènes aussi complexes que ceux que nous étudions, que les résultats de nos expériences ne peuvent viser qu'à donner une idée générale de la question.

John H. Willer a montré que le bacille typhique vit plus longtemps dans l'eau polluée stérilisée que dans l'eau ordinaire également stérilisée, et cela se conçoit puisque le bacille typhique trouve dans les matières organiques stérilisées un aliment qui lui fait défaut dans le second cas.

Bertin-Sans et Carrière signalent la résistance du même bacille dans le sol et dans les matières fécales durcies.

Fürbringer et Stietzel ont pu déceler le bacille d'Eberth au bout de 85 jours dans un mélange d'eau de puits et de vidange. Galvagno et Calderini ont vu ce même bacille conserver sa vitalité pendant 30 jours dans une fosse d'aisance et 25 jours dans une tonne de vidange.

Par contre, Bertin-Sans et Carrière signalent la dis-

parition rapide du bacille typhique des les milieux en putréfaction et William Dodge Frost montre que certaines espèces microbiennes jouissent d'une action antagoniste très nette vis-à-vis du B. d'Eberth. Au premier rang de ces espèces il faut citer le bacillus vulgatus et le bacillus vulgaris, le pseudomonas fluorescens et le pseudomonas putridus. Notons que certains de ces germes sont abondants dans l'eau d'égout.

Enfin avant d'aborder la question nous signalerons les difficultés de recherche inhérentes à la technique ; la flore des eaux d'égout est extrêmement riche puisque nous avons vu qu'elle se chiffre toujours par plusieurs millions de germes au cm^3 et il est toujours difficile de mettre en évidence un germe au milieu de tous ces saprophytes dont quelques-uns sont très vivaces.

Pour donner une idée de la difficulté de recherche du B. typhique dans l'eau d'égout, nous pouvons rapporter l'expérience suivante :

1 cm^3 d'une dilution culturale de B. typhique dosée à 7.500 germes au cm^3 est mélangé à 1 litre d'eau d'égout. Toutes les tentatives que nous avons faites pour mettre en évidence *immédiatement* après le mélange le bacille ajouté, sont restées vaines.

Expériences : Nous avons recherché :

1° La disparition des bacilles du groupe typhique dans des eaux d'égout en cours d'activation (par conséquent sans boues activées).

2° La disparition de ces mêmes bacilles dans l'eau d'égout traitée par le procédé des boues activées.

Dans chacun de ces deux cas nos expériences ont été montées de la même façon :

3 séries de 3 ballons sont mises en expérience chaque fois. Dans chaque série le premier ballon soumis à l'aération reçoit de l'eau d'égout brute mélangée ou non avec la boue activée ; le deuxième ballon également soumis à l'aération reçoit de l'eau d'égout stérilisée, ou un mélange stérilisé d'eau d'égout et de boue activée. Enfin le troisième ballon n'est pas aéré et il reçoit de l'eau d'égout brute ou un mélange d'eau d'égout et de boue activée.

Chacun de ces ballons, dont la capacité est de 1 litre environ, reçoit $\frac{1}{2}$ cm³ de culture de 24 heures en bouillon :

De bacille d'Eberth pour la première série.

De bacille paratyphique A pour la deuxième série.

De bacille paratyphique B pour la troisième série.

Des prélèvements sont faits périodiquement dans chacun de ces ballons jusqu'à disparition des pathogènes introduits.

Technique de la recherche des B. typhiques ou paratyphiques : Ces bacilles ont été recherchés par la même méthode :

3/10 de cm³ de liquide sont prélevés après sédimentation des boues, etensemencés dans 10 cm³ d'eau pepto salée identique à celle qui nous a servi à rechercher le colibacille. Le mélange est phéniqué à raison de une goutte d'une solution à 5 % d'acide phénique, pour 2 cm³ de mélange et les tubes sont mis à l'étuve à 41°,5 pendant 14 ou 16 heures.

Au bout de ce temps une ose de chaque culture est prélevée et étalée à l'aide d'un agitateur coudé à la surface de deux boîtes de gelose lactosée tournesolée.

Ces boîtes sont mises 24 à 36 heures à l'étuve à 37°. Les colonies transparentes qui n'ont pas viré le milieu et qui sont constituées par des bacilles à Gram négatif, et mobiles après dilution dans l'eau, sont repiqués sur bouillon au rouge neutre en eau pepto salée et sur gélatine. Dans ces conditions les bacilles du groupe typhique donnent les résultats suivants :

	Bacille typhique	Paratyphi- que A	Paratyphi- que B
Liquéfaction de la gélatine abandonnée à 15°..	—	—	+
Virage du rouge neutre..	—	+	+
Réaction de l'indol dans la culture en eau pepto salée	—	—	+

RÉSULTATS :

1° Disparition des bacilles typhiques et paratyphiques dans l'eau d'égout en dehors de la présence de boues activées.

(T=b. typhique, A=paratyphique A, B=paratyphique B. Les signes + et — indiquent que la recherche a été positive ou négative).

Durée de l'expérience....		24 heures			41 heures			3 jours			4 jours			5 jours		
GERMES ENSEMENCÉS		T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B
A. Sewage brut aéré																
Expérience n° 1.....		—	—	—												
— 2.....		+	+	+	—	—	—									
— 3.....		+	—	+	—	—	—									
— 4.....		+	+	+				+	+	+	+	+	+	—	—	—
— 5.....		—	—	—												
— 6.....		+	+	+	+	+	+	—	—	—						
B. Sewage brut non aéré																
Expérience n° 1.....		—	—	—												
— 2.....		+	+	+	—	—	+	—	—	—						
— 3.....		+	+	+	—	—	—									
— 4.....		+	+	+				+	—	+	—	+	+	—	—	—
— 5.....		—	—	—												
— 6.....		+	+	+	+	+	+	—	—	—						
C. Sewage stérilisé et aéré																
Expérience n° 1(1).....		+	+	+												
— 2.....		+	+	+	+	+	+									
— 3.....		+	+	+	+	+	+									
— 4.....		+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+
— 5.....		+	+	+												
— 6.....		+	+	+	+	+	+	+	+	+						

Présence des 3 T A B au bout de 40 jours d'aération

2° Disparition des bacilles typhiques et paratyphiques dans l'eau d'égout traitée par le procédé des boues activées.

(Même signes conventionnels que dans le tableau précédent).

Durée de l'expérience.... GERMES ENSEMENCÉS	6 heures			24 heures			48 heures			3 jours			4 jours		
	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B
A. Mélange sewage + boue, activée, aéré															
Expérience n° 1.....	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
— 2.....	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— 3.....	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
— 4.....	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B. Mélange sewage + boue activée non aéré															
Expérience n° 1.....	+	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— 2.....	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— 3.....	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
— 4.....	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C. Mélange sewage + boue activée stérilisé et aéré															
Expérience n° 1.....	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
— 2.....	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
— 3.....	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
— 4.....	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—

Conclusions : Les bacilles du groupe typhique paraissent résister très longtemps dans l'eau d'égout stérilisée ou dans le mélange eau d'égout-boue activée également stérilisé.

L'une de nos expériences (exp. n° 1 tableau 1) a été prolongée pendant 40 jours, et au bout de ce temps nous avons pu constater la persistance des bacilles typhiques, paratyphiques A et B dans leurs ballons respectifs.

Par contre dans les milieux non stérilisés la survie de ces mêmes bacilles n'a jamais dépassé 4 jours dans l'eau d'égout seule et 3 jours dans l'eau d'égout mélangée à des boues activées.

Nous voyons donc :

1° *Que la disparition des bacilles typhiques ou paratyphiques semble être peu influencée par l'aération ou par la présence de boues activées.*

2° *Qu'au terme de l'épuration chimique (toujours atteint au bout de 6 heures dans nos expériences) les pathogènes du groupe typhique existaient presque toujours dans l'effluent.*

3° *Que dans la disparition de ces germes au sein des servages, il faut faire intervenir comme facteur essentiel la concurrence vitale des autres germes.*

C. Disparition du Vibrion cholérique dans les eaux d'égout traitées par le procédé des boues activées.

La disparition du vibrion cholérique au dehors de l'organisme humain est un phénomène essentiellement variable.

Selon Kolle et Wassermann ce germe persisterait pendant plusieurs jours et même pendant plusieurs semaines dans l'eau des lacs ou des rivières. Wernicke a retrouvé

des vibrions cholériques vivants dans la vase d'un aquarium au bout de plusieurs mois. Defressinge et Cazeneuve ont vu ces vibrions vivre et se multiplier dans les eaux salées des rades, dans les eaux douces et dans la vase des rivières. Fürbringer et Stietzel ont pu mettre le vibron cholérique en évidence au bout de 106 jours dans un mélange de vidange et d'eau de puits.

Par contre Kolle et Wassermann signalent la disparition rapide (en 24 heures) de ce même microbe dans l'eau distillée. R. Koch observe sa disparition en 24 à 30 heures dans les canalisations de Berlin. Abel et Draer, Claussen, Dunbar ne peuvent le mettre en évidence au bout de 3 à 4 jours dans des selles de cholériques abandonnées à la putréfaction.

Selon Kolle et Hetsch le vibron cholérique est détruit en 24 heures dans le contenu des égouts, cette action bactériolytique des eaux d'égouts qui est surtout prononcée avec les eaux résiduaires sortant des fosses septiques est dûe d'après Calmette aux nombreuses diastases qui se trouvent dans les matières ayant subi la fermentation septique.

Diatroproff a constaté à Odessa que le vibron de Koch peut vivre de 2 à 8 jours dans les eaux d'égout tandis que Stutzer l'a vu succomber en 1/4 d'heure au plus dans l'eau d'égout de Postdam ou de Berlin.

On conçoit d'ailleurs que la résistance du vibron cholérique soit éminemment variable dans le milieu de composition inconstante qu'est l'eau d'égout.

Expériences : Nous avons institué 3 expériences en vue de suivre la disparition du vibron cholérique dans l'eau d'égout traitée par les boues activées.

Chaque expérience comprenait 3 ballons :

1^{er} ballon : eau d'égout + $1/4$ de son volume de boue activée (aéré).

2^e ballon : même mélange mais non aéré.

3^e ballon : même mélange que dans les 2 expériences ci-dessus mais stérilisé et aéré.

Dans chacun de ces ballons nous avons ajouté $1/2$ cm³ de culture de vibron cholérique en bouillon ordinaire, âgée de 24 heures.

Technique de recherche du vibron cholérique : Au bout de 6 heures d'aération pour les ballons 1 et 3, ou après 6 heures de repos pour le ballon 2, $3/10$ de cm³ du contenu de chaque ballon étaientensemencées dans des tubes renfermant de l'eau pepto salée identique à celle qui nous a servi à la recherche du colibacille, mais additionnée de 1 goutte de solution de soude N/10 par cm³. Après 6 heures d'étuve à 37°, une ose de culture était prélevée à la surface du contenu de chaque tube et étalée sur milieu de Dieudonné.

L'identification des colonies suspectes apparues au bout de 12 heures d'étuve à 37° sur milieu de Dieudonné était de la façon suivante :

1° Examen de la mobilité entre lame et lamelle.

2° Examen microscopique après coloration par la méthode de Gram.

3° Réaction indol-nitreuse après 16-18 heures de culture en eau pepto salée alcalinisée.

4° Piqure en gélatine.

Dans ces conditions nous avons obtenu les résultats suivants :

	Ballon n° 1 mélange aéré	Ballon n° 2 mélange non aéré	Ballon n° 3 mélange stérilisé et aéré
1 ^{re} expérience	Recherche <i>négative</i> du V. cholérique	Recherche <i>négative</i> du V. cholérique	Recherche <i>positive</i> du V. cholérique
2 ^e —	au bout de 6 heures	au bout de 6 heures	au bout de 6 heures
3 ^e —			

En somme nous n'avons pas pu mettre en évidence le v. cholérique à la fin de chacune de nos expériences, dans les liquides non stérilisés. Comme le vibrion a disparu aussi bien dans les liquides au repos que dans les liquides soumis à l'aération, cette disparition ne paraît pas être due à la présence des boues activées.

Notons d'autre part la présence constante du vibrion cholérique dans les mélanges préalablement stérilisés.

Au cours de la première expérience l'aération du ballon n° 3 a été prolongée pendant 14 jours et au bout de ce temps le vibrion cholérique n'avait pas disparu.

Conclusion : Nous n'avons pas retrouvé le vibrion cholérique dans les effluents soumis par le procédé des boues activées, mais cette disparition ne nous a pas paru imputable à l'action propre des boues activées : Le mécanisme de la disparition du vibrion cholérique paraît être comme pour les bacilles du groupe typhique-paratyphique, la concurrence vitale des autres germes renfermées dans l'eau d'égout.

CHAPITRE V

L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT PAR LES BOUES ACTIVÉES EST-ELLE UN PROCESSUS D'ORDRE BIOLOGIQUE ?

La mise en évidence dans les boues activées de germes sporulés ou non, susceptibles d'attaquer les substances ternaires ou quaternaires, la présence dans ces mêmes boues des ferments nitrificateurs, avaient permis de supposer que le procédé des boues activées était analogue à celui des filtres bactériens, quant à la nature intime des phénomènes d'épuration.

Or, à l'Académie des Sciences, M. Cambier, dans une série de trois notes, prétend que la nature biologique de l'épuration par les boues activées n'est nullement démontrée, et qu'il est permis de penser que l'ammoniaque et les autres principes azotés de l'eau d'égout, tout d'abord fixés par la boue dans la première phase de l'épuration pourraient ensuite être oxydés et transformés en acide nitrique par l'oxygène de l'air insufflée dans la masse. Cette oxydation est favorisée sinon déterminée par l'oxydation de certaines substances qui existent dans les boues, notamment du sulfure de fer.

En somme, pour M. Cambier, l'épuration par les boues activées se réduirait à un processus physico-chimique, et voici les raisons qu'il donne à l'appui de sa thèse :

1° L'auteur n'a pas réussi à isoler les germes nitrifiants dans les boues activées.

2 L'auteur constate que dans ses expériences la nitrification des sewages se fait même à 0° et qu'elle est maxima à 30°, alors que Schloenig et Müntz ont établi que la fermentation nitrique est nulle à 5°, qu'elle commence à se manifester vers 12° pour atteindre son maximum à 37°.

D'autre part, dans la fermentation nitrique classique, la production de nitrites se manifeste lorsque la température est inférieure à 20°, alors qu'au cours de ses expériences l'auteur n'a obtenu de nitrites en quantité appréciable que lorsque les conditions de température de ces expériences ont dépassé 20°.

3° L'auteur constate que le chloroforme anéantit rapidement et définitivement le pouvoir épurateur de la boue.

Mais, d'une part une dose très faible (1/18.000) de ce corps suffit à apporter une gêne considérable à l'épuration, alors que d'ordinaire le pouvoir antiseptique du chloroforme n'apparaît guère élevé puisque le B. d'Eberth se développe normalement en 24 heures dans du bouillon renfermant 1/220 de chloroforme, et que la levure de bière fermente non moins normalement en milieu sucré renfermant 1/500 du même corps.

D'autre part si on sature de l'eau d'égout avec du chloroforme puis si on chasse par un courant d'air prolongé ce chloroforme, on constate que l'eau d'égout ainsi

traitée n'est plus susceptible d'être nitrifiée par les boues activées.

De cet ensemble de faits, M. Cambier conclut qu'il est difficile de voir, dans l'action du chloroforme, une action antiseptique.

4° Les boues activées renferment de notables proportions de sulfure de fer et l'auteur constate que des boues activées ayant perdu presque complètement leur pouvoir nitrifiant, récupèrent leur activité par l'addition d'un peu de sulfure de fer, il en déduit que ce corps est un facteur important de l'action épuratrice que possède cette boue à l'égard de l'eau d'égout.

Nous ne nous proposons nullement de discuter les arguments allégués par M. Cambier, mais bien plutôt de démontrer que le phénomène d'épuration par les boues activées est un phénomène d'ordre biologique.

Cependant nous ferons remarquer que le fait de n'avoir pu isoler les ferments nitrifiants n'est pas une preuve de leur non existence, et que d'ailleurs plus heureux que M. Cambier, Kamm, continuant les recherches de Russel, a pu mettre en évidence les ferments nitrifiants dans les boues activées.

D'autre part M. Cambier constate lui-même que le sulfure de fer est insuffisant à assurer à lui seul l'épuration des eaux d'égout, la présence des boues, *analogues à l'humus végétal*, dit l'auteur, est indispensable. Or, n'est-ce pas la présence des ferments nitrifiants qui caractérise essentiellement l'humus végétal ?

Pour démontrer la nature biologique du processus nous ferons voir successivement :

1° Que les catalyseurs chimiques, employés dans les

conditions habituelles d'application du procédé, ne possèdent aucune action nitrifiante.

2 Que les antiseptiques jouissent de propriétés inhibitrices vis-à-vis du « pouvoir épurateur ».

3° Enfin que l'on peut préparer des boues activées par ensemencement tout comme on prépare une culture microbienne.

I. — ACTION DES CATALYSEURS :

M. Cambier n'a pu réaliser l'épuration des eaux d'égout avec le sulfure de fer seul. Ardern et Lockett, à Manchester et à Davyhulme, n'ont retiré aucun avantage de l'addition de précipités d'hydroxydes de fer ou d'aluminium dans les boues en cours d'activation. Quelquefois cependant la durée de la nitrification des sewages a été légèrement réduite par suite de leur présence. Ces faits favorables s'expliquent d'ailleurs naturellement parce que les précipités ainsi ajoutés servent de supports sur lesquels se développent plus aisément les ferments épurateurs : on connaît l'action bien plus favorisante des corps poreux tels que le carbonate de chaux ou la pouzzolane. M. Bellier n'a pas obtenu de meilleurs résultats avec les boues activées additionnées de nickel réduit ou d'hydrate manganéuse, qu'avec les boues activées seules, dans les expériences qu'il a faite au laboratoire de M. le professeur Hugounencq.

Action du Rhodium réduit et du Rhodium à l'état colloïdal.

On sait que le rhodium réduit est un des agents catalytiques les plus énergiques actuellement connus ; il est un des éléments actifs de la mousse de platine. Si l'épu-

ration des eaux d'égout par les boues activées est un phénomène de catalyse chimique, le rhodium, agent éminemment actif pourra lui aussi réaliser cette épuration.

Nous nous sommes servis dans nos expériences de rhodium colloïdal préparé par les laboratoires Clin. Quant au rhodium réduit nous l'avons obtenu de la façon suivante :

10 gr. de rhodium commercial sont traités par 20 gr. de sulfate acide de potassium à la température du rouge pendant 5 minutes dans une capsule de platine. On laisse refroidir et épuisé par l'eau à l'ébullition. La liqueur ainsi obtenue et qui renferme un sulfate double de K et de rhodium est additionnée de la quantité de soude à 1/10, strictement nécessaire pour précipiter le rhodium à l'état d'hydrate, (éviter un excès qui redissoudrait le précipité). Laver le précipité puis le délayer dans un peu d'eau et ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique jusqu'à dissolution complète.

Additionner alors 10 vol. de la solution précédente de 7 volumes de solution commerciale de formol et de 3 volumes de lessive de soude. Le rhodium réduit ainsi préparé est recueilli sur un filtre et lavé à plusieurs reprises à l'eau distillée, puis à l'eau ammoniacale pour éliminer le formol sous forme d'urotropine, enfin à l'eau distillée jusqu'à disparition de l'ammoniaque des eaux de lavage.

1^{re} expérience : 2 litres d'eau d'égout, stérilisée en vase clos (pour éviter le départ de l'ammoniaque), à l'autoclave à 125°, ont été additionnés de 1 gr. environ de rhodium réduit. Au bout de 20 jours d'aération le liquide ne renfermait aucune trace de nitrate.

2^e expérience : Un mélange de 750 cm³ d'eau d'égout

et de 250 cm³ de boue activée, a été stérilisé en vase clos pour éviter le départ de l'ammoniaque puis a été soumis à l'aération après addition de 0 gr. 50 environ de Rhodium réduit.

Dose d'ammoniaque au début de l'expérience : 22 milligr. par litre.

Dose d'ammoniaque après 3 jours d'aération : 25 milligr. par litre.

Au bout de ces 3 jours d'aération le liquide additionné de 20 cm³ d'électrorhodiol Clin après 2 nouveaux jours d'expérience la dose d'ammoniaque était de 25 milligr.

En somme aucun des catalyseurs qui ont été successivement expérimentés n'a pu nitrifier l'eau d'égout.

II. — ACTION DES ANTISEPTIQUES :

Si l'épuration par les boues activées est un phénomène bactérien, ce phénomène sera influencé par les antiseptiques.

Nous avons recherché successivement l'action du xylol, de l'hypo-chlorite de soude, de la résorine et du phénol ordinaire.

1° Action du xylol : 2 ballons reçoivent 750 cm³ chacun d'un mètre mélange boue activée-eau d'égout.

Dose d'ammoniaque au début de l'expérience : 17 milligr. 5.

Le premier ballon a été aéré dans les conditions habituelles, tandis que l'air avant de pénétrer dans le second ballon barbotait dans un flacon renfermant du xylol, renouvelé au fur et à mesure de sa disparition.

Résultats : a) Disparition en 6 heures de l'ammoniaque du ballon n° 1 ; b) Au bout de 2 jours la teneur en am-

moniaque du second ballon était sensiblement la même qu'au début de l'expérience.

Les trois expériences suivantes furent montées de la même façon, seul l'antiseptique variait dans chacune d'elles : 2 ballons renfermant un même mélange d'eau d'égout et de boue activée sont soumis à l'aération, l'un étant additionné de l'antiseptique, l'autre non.

On suit la disparition de l'ammoniaque dans chacun de ces deux ballons.

1° Action de l'hypochlorite de soude :

Le ballon expérience contenant 500 cm³ de liquide a reçu X gouttes d'eau de Javel du Commerce.

Dose d'ammoniaque au début de l'opération : 14 milligr.

Disparition de l'ammoniaque en 5 heures dans le ballon témoin.

Au bout de trois jours d'aération la dose d'ammoniaque était de 13 milligr. 5 dans le ballon expérience.

2° Action de la résorcine : 750 gr. environ de liquide ont été additionnés de 1 gr. de résorcine.

Dose d'ammoniaque au début de l'expérience, 17 mgr.

Disparition en 6 heures 1/2 dans le ballon témoin.

Dose d'ammoniaque dans le ballon expérience après 2 jours d'aération : 15,5.

3° Action du phénol ordinaire : 500 cm³ de liquide ont été additionnés de 20 cm³ de solution phénique à 5 % (soit 1 gr. d'acide phénique).

Dose d'ammoniaque au début de l'expérience, 12 mgr.

Disparition de l'ammoniaque en 8 heures dans le ballon témoin.

Dose d'ammoniaque au bout de 3 jours d'aération : 18 milligr. 5

Nous n'avons pas cru devoir multiplier les expériences, puisque celles que nous avons faites donnaient toutes des résultats concordants ; en aucun cas, en présence d'une dose suffisante d'antiseptique nous n'avons obtenu la nitrification de l'ammoniaque de l'eau d'égout. Notons l'augmentation de la dose d'ammoniaque sous l'influence de l'acide phénique.

Enfin nous pouvons faire état de faits constatés dans les stations d'épuration : Lorsque l'eau d'égout renferme des eaux résiduaires industrielles antiseptiques on remarque que l'épuration ne se fait pas. A New Haven par exemple les eaux d'égout renferment du sulfate de cuivre qui provient d'usines d'armement très importantes. Le rapport de la commission chargée de résoudre le problème du traitement du sewage de cette ville conclut qu'aucun des procédés biologiques en général et le procédé des boues activées en particulier, ne saurait être employé à New Haven et qu'il y a lieu de recourir uniquement à des procédés physico chimiques. La présence de sulfate de fer dans les eaux de Worcester a également rendue l'application du procédé des boues activées impossible. A Colombes M. Diénert a eu plusieurs accidents : par suite d'apports inhabituels d'eaux résiduaires les boues ont perdu à différentes reprises leur activité et il a fallu les aérer en présence de carbonate de chaux pour obtenir une véritable guérison de ces boues.

III. — ACTION DE LA CHALEUR :

La stérilisation par la chaleur d'un mélange sewage-boue activée empêche tout phénomène de nitrification.

a) *Expérience* : Un mélange sewage-boue activée est stérilisé à 125° pendant 20 minutes, dans un récipient hermétiquement fermé pour éviter la disparition de l'ammoniaque, puis il est soumis à l'aération.

Au bout de 5 jours on constate que le taux de l'ammoniaque n'a pas varié. D'autre part on constate après stérilisation que l'aspect des boues s'est profondément modifié : elles n'ont plus leur aspect gélatineux et elles sont comme coagulées.

b) La deuxième expérience sur l'action du rhodium, ajouté à un mélange stérilisé d'eau d'égout et de boue activée montre également la disparition du pouvoir épurateur des boues sous l'influence de la chaleur.

Nous voyons donc *que la stérilisation par la chaleur d'une boue activée lui fait perdre ses propriétés épuratrices.*

Conclusions : Les catalyseurs chimiques s'étant montrés impuissants à assurer la nitrification des eaux d'égout sous l'influence de l'aération nous sommes autorisés à penser que l'épuration est due à des actions microbiennes.

Cette hypothèse se trouve confirmée par l'action empêchante dont jouissent les antiseptiques et la chaleur vis-à-vis du « pouvoir épurateur » des boues. Si l'action stérilisante du chloroforme a pu être considérée comme une action mystérieuse, différente d'une action antiseptique d'une série, il est difficile de ne pas considérer l'action inhibitrice de substances antiseptique comme ne relevant pas des propriétés antiseptiques de ces mêmes substances.

Cette façon de voir a trouvé une confirmation que nous considérons comme irréfutable dans une expérience due à M. Diénert.

Expérience de M. Diénert : L'auteur stérilise de la boue activée minérale et constate qu'elle ne jouit plus d'aucune propriété épuratrice. Il réensemence alors cette boue inerte avec une trace de boue activée et il lui voit reprendre rapidement son activité primitive.

Cette expérience contient à elle seule toute la réfutation de la thèse de M. Cambier : elle n'est rien autre chose qu'un ensemencement analogue à tous les ensemencements que l'on fait chaque jour en bactériologie. Et ainsi nous nous croyons autorisé à conclure à la nature biologique du procédé d'épuration par les boues activées.

CONCLUSIONS

De nos recherches nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

I. — Résultats chimiques.

a) *Résultats généraux* : Les effluents que nous avons obtenus après traitement par les boues activées se sont toujours montrés limpides, dépourvus de mauvaise odeur, à peu près exempts d'ammoniaque et riches en nitrates. Ces effluents se sont montrés stables après incubation.

b) *Disparition de l'ammoniaque* : La disparition de l'ammoniaque est fonction linéaire du temps.

c) *Disparition de la matière organique* : Le taux limite de disparition de la matière organique varie dans nos expériences de 61 à 68 %. Ce taux limite est atteint après deux à trois heures d'aération et il n'est pas dépassé en prolongeant l'aération. La disparition de la matière organique suit une courbe régulièrement décroissante.

II. — Résultats bactériologiques.

a) *Épuration bactérienne totale* : L'épuration bacté-

rienne du sewage traité par les boues actives nous a paru être un phénomène très irrégulier, mais en général elle s'est toujours montrée assez peu marquée. On n'obtient une épuration bactérienne véritable qu'en prolongeant de façon notable l'aération ainsi que l'avaient déjà montré MM. Paul Courmont et Rochaix.

b) *Disparition du Colibacille* : Soumis à une aération prolongée le colibacille disparaît ainsi que l'ont également vu les auteurs précités, mais dans le sewage traité dans les conditions pratiques de l'épuration, la disparition du colibacille est un phénomène essentiellement variable.

c) *Disparition des Bacilles typhiques et paratyphiques A et B* : La disparition des Bacilles typhiques et paratyphiques semble être peu influencée par l'aération ou par la présence des boues actives et au terme de l'épuration chimique les microbes de ce groupe existent presque toujours dans l'effluent.

Dans la disparition de ces germes au sein des sewages il faut faire intervenir comme facteur essentiel la concurrence vitale des autres germes.

d) *Disparition du Vibrion cholérique* : Le vibrion cholérique disparaît rapidement des sewages traités par les boues activées, mais sa disparition paraît être aussi rapide dans les sewages non traités : ici encore la concurrence vitale des autres germes de l'eau d'égout paraît jouer le rôle capital.

III. — Nature du processus d'épuration par les boues activées.

Le processus d'épuration par les boues activées est

essentiellement un phénomène biologique, mais divers phénomènes d'ordre physio-chimique interviennent d'une façon accessoire soit avant, soit au cours de l'épuration proprement dite.

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
Paul COURMONT.

Vu :
LE DOYEN,
Jean LÉPINE.

Vu et permis d'imprimer :

LYON, le 27 avril 1921.

Pour le Recteur et par Délégation :
LE VICE-PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
JOSSERAND.

BIBLIOGRAPHIE

- ARDERN. — *The activated sludge processe of sewage purification.* — Jour. of. soc. of chem. indus., 30 septembre 1915.
- — *A resume of the present position of the actievated sludge processe of sewage purification.* Id., 31 juillet 1917.
- — *The activated sludge process* (compte rendu et discussion Sureeyer), 2 janvier 1920.
- ARDEN et LOCKETT. — *Experiments of the oxydation of sewage withoutthe aid of filters.* Journ. of soc. of. chem. indus., 15 décembre 1914.
- — — *Oxidation of sewage without aid of filters.* Id., 1915, p. 943.
- BARTOW. — *The treatment of sewage by aeration in the presence of activated sludge.* Trans. of the ann. Inst. of chem. indus., VIII, 1915, p. 119.
- — *Purification of sewage by aération in the presencē of activated sludge.* Journ. of Ind. and Eng. chem., 7 septembre 1917.
- BARTOW et MOHLMAN. — *Purification of sewage by aeration in the presence of activated sludge.* University of Illinois. Bull. 2 octobre 1916, p. 325.
- BELLIER. — *Epuration des eaux d'égout par les boues activées* in compte rendu de la séance du 14 juin 1919 de la commission générale du tout à l'égout de la ville de Lyon.
- BEZAULT. — *Perfectionnements apportés dans les procédés d'épuration des eaux d'égout.* In revue « L'Eau », 15 janvier 1915.

- CALMETTE, ROLANTS, BOULANGER, CONSTANT et MASSOL. — *Recherches sur l'épuration biologique et chimique des eaux d'égout*. 8 volumes, 1905-1913. Masson et C^{ie}, éditeurs, Paris.
- CAMBIER. — *Sur l'épuration des eaux d'égout par les boues activées*. In C. R. Ac. Sciences, tome 170, p. 681.
- — Id., tome 170, p. 1.417.
- — Id., tome 171, p. 57.
- CHALKLEY HATTON. — *Activated sludge plant for the city of Milwaukee*. Eng. News. Rec., 20 mai 1920.
- CHALKLEY HATTON et WILLIAM R. COPPELAND. — *Recherches expérimentales sur les boues activées*. The surveyor and municipal and Country Engineer.
- *City of Manchester Rivers department*. Annal. Report for the year ending. Manchester, 28 th., 1917 et 17 th. 1918.
- CLARK et ADAMS. — *Aération as an aid to filtration of sewage*. Eng. Rec., 28 juin 1913.
- CLARK et ADAMS. — *Sewage treatment by aeration and contact in tank containing layers of slate*. Eng. Rec., 7 février 1914.
- COL BLACK, and prof. Phelbs. — *Contribution from sanitary rescarch laboratory and servage experment station*. Massachusetts Institute of technology. Vol. VII, Boston 1911.
- CLARK. — *Developpement of the purification of sewage by aeration and growths at Lawrence-Mass.*
- COPPELAND. — *Station de Milwaukee*.
- CRAWFORD et BARTOW. — *Composition of the effluent air*.
- J. COURMONT. — *Précis de Bactériologie*. Doin, éditeurs, Paris, 1919.
- Jules COURMONT, LESIEUR et ROCHAIX. — *Précis d'Hygiène*. Masson et C^{ie}, édit., Paris 1914.
- Paul COURMONT et A. ROCHAIX. — *La flore des eaux d'égout épurées par le procédé des boues activées*. C. R. Ac. Sc., tome 170, p. 74.

- Paul COURMONT et A. ROCHAIX. — *Action des microbes des eaux d'égout épurées par le procédé des boues activées sur les matières albuminoïdes, l'urée et les nitrates.* C. R. Ac. Sc., t. 170, p. 967.
- Paul COURMONT et A. ROCHAIX. — *Action des microbes des eaux d'égout épurées par le procédé des boues activées sur les hydrates de carbone.* C. R. Ac. Sc., t. 170, p. 1.134.
- DIÉNERT. — *Qu'est-ce que les boues activées ?* C. R. Ac. Sc., 31 décembre 1917.
- DIÉNERT. — *Sur la formation de l'aboue activée.* C. R. Ac. Sc., t. 170, p. 762.
- DIÉNERT. — *Epuration des eaux d'égout par les boues activées* Technique sanitaire et municipale, 1920, p. 212.
- DIÉNERT et GIRAULT. — *Action des boues activées sur l'ammoniaque de l'eau d'égout et de l'eau ordinaire.* C. R. Ac. Sc., t. 170, p. 899.
- DIÉNERT, WANDENBLUKE et Mlle LAUNAY. — *Sur l'action des boues activées.* C. R. Ac. Sc., t. 170, p. 1.889.
- DOPTER et SACQUEPÉE. — *Précis de Bactériologie.* Baillière, Paris, 1914.
- DROWN. — *The effect of the aeration of natural waters.* Rept. Mass. St. Rd. of Health for 1891.
- Eddy and FALKS. — *Treatment of tannery wastes.*
- TURBRINGER et STIETZEL. — *Über die Lebensdauer von Cholera und Typhusbakterien in Spulgruben.* Analyse in Bull. Institut Pasteur, 1909, p. 39.
- GALVAGNO et CALDERINI. — *Lebensdauer und Virulenz des Typhus bacillus in Gruben, Tonnen und in Boden.* Analysé in Bulletin I. P., 1909, p. 39.
- HATTFIELD et BARTOW. — *The value of activated sludge as a fertiliser.* Univ. of Illinois. Bull 2 octobre 1916.
- HENDRICK. — *Experiments at Baltimore.*
- HOFFMANN. — *Untersuchen über die Lebensdauer von Typhus bacillen im Aquarium wasser.* Analysé in Bull. I. P., 1905, p. 269.

- JADIN. — *Précis d'hydrologie et de Minéralogie*. A. Storck, édit., Lyon, 1899.
- JORDAN, RUSSEL et ZEIT. — *The longevity of typhoid. bacillus. in water*. Analysé in Bull. I. P., 1905, p. 44.
- KAMM. — *Bacteriological purification of sewage*. Analysé in Revue d'Hyg. et pol. sanit., 1919, p. 1.033.
- KINNIONITT, WUISLORD AND PRATT. — *Sewage disposal New-York*. J. Wiley, 1919, p. 381.
- KOLLE et HETSCH. — *La Bactériologie expérimentale*. Traduction Carrière, Doin, éditeur, Paris 1918.
- KOLLE et WASSERMANN. — *Handbuch der pathogen mikroorganismen*. Hitzel, éditeurs, Leipzig, 1913.
- KONRADI. — *Über die Lebensdauer pathogener Bakterien in Wasser*. Analysé in Bull. I. P., 1904, p. 591.
- LEMOIGNE. — *Contribution à l'étude du rôle des microbes du groupe du B. subtilis dans l'épuration des eaux d'égout. Leur action sur les matières azotées et hydrocarbonées*. Th. doct. ès-sc., Paris, 1913.
- Manchester. — *Rivers department*. Annual report, 1918-1919.
- Manchester Corporat. — *Rivers depart*. Annual report, 1897.
- Milwaukée. — *Sewage testing station*. Eng. News. Rec., 25 décembre 1919.
- MOHLMAN. — *The activated sludge method of sewage treatment*. Univ. of Illinois, Bull., 12 septembre 1917.
- MOREL. — *Précis de technique chimique*. Doin, éditeurs.
- MUNFORD. — *A new iron bacterium*. Trans. of the chem. soc., 1913, p. 645.
- NASMITH et MAC KAY. — *Valeur fertilisante de la boue activée*, analysée in Revue d'Hyg. et pol. san., 1919, p. 885.
- PELLERIN. — *Guide pratique de l'expert chimiste en denrées alimentaires*. Maloine, édit., Paris, 1910.
- RAFTER AND BAKER. — *Sewage disposal in the United states*. 3^e édit., 1900.
- Rapport de la Commission Fieldpress New Haven Com. U. S. A.*, 1918.

RAY LAMPHEAR. — *Activated sludge experiments at Worcester.* Mass. Eng. News Rec., 22 avril 1920.

Recueil des constants physiques, publié par la Société des physiciens français. Gauthier-Villars, édit., Paris, 1913.

Report to Royal Commission on the Metropolitan sewage disposal, 1884, vol. 2.

RUSSEL et BARTOW. — *Bacteriological study of sewage purification by aeration* Univ. of Illinois. Bull., 2 octobre 1916.

ROLANTS. — *Analyse des eaux d'égout*. 1 vol., Masson et C^{ie}, édit., Paris, 1919.

ROLANTS. — *Un nouveau procédé d'épuration des eaux d'égout ; oxydation de l'eau d'égout sans lits bactériens*. In Rev. Hyg. et pol. san., 1919, p. 459.

ROLANTS. — *L'épuration des eaux d'égout par le procédé des boues activées*. In Rev. Hyg. et pol. sanit., 1920, p. 409.

RONCHÈSE. — *Guide pratique pour l'analyse des urines*. Bailière, édit., Paris, 1912.

WAKEFORD. — *Résumé succinct d'expériences d'épuration des eaux d'égout par les boues activées*. Analysé in Bull. de l'Off. d'hyg. int. publié, 1915, p. 2.100.

WHEELER. — *The viability of Bacillus typhosus under various conditions*. Analysé in Bull. I. P., 1906, p. 968.

WINSLORD et MOHLMAN. — *Four methods of sewage. Treatment studied at New Haven Testing Station*. Eug. New. Rec. 2 janv. 1919. Analysé in Revue Hyg. et pol. sanit., 1919, p. 1.037.

YOUNG et MELLING. — *Activated sludge in the treatment of sewage*. Journ. of the Royal San. Inst., juin 1918.
